

PODAVAČ VSÁZKY S CHLAZENÝM ÚSTÍM

Feeder of Charge with Cooled Vent

Student:

Tomáš GERLA

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk NOGA, CSc.

OSTRAVA 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Gerla**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení
Téma: Podavač vsázky s chlazeným ústím
Feeder of Charge with Cooled Vent

Zásady pro vypracování:

Pro potřebu laboratoří VŠB-TUO navrhnete pro plazmovou pec podavač vsázky s chlazeným ústím zabezpečující větší využití vsázkového materiálu a svislou manipulaci vsázky v ose pece v rozsahu cca $\pm 25\text{mm}$ nad krystalizatorem. Při návrhu řešení vycházejte ze stávajícího provedení podavače vsázky. Teplotu ve sloupci plazmy předpokládejte na úrovni cca 8 000 stupňů K. Vnější průměr tavicí komory $D = 380\text{mm}$.

Proveďte :

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a hrubá stavební struktura.

2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.

3. Výrobní výkresovou dokumentaci podavače vsázky.

Rozsah výtahu z rešerše z Bakalářského projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 1A0

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité zdroje a podklady.

V Ostravě dne 20. května 2013



podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2013

podpis studenta

Plné jméno:

Tomáš Gerla

Adresa trvalého pobytu:

Kladeruby 66

756 43

Česká Republika

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňkovi Nogovi, CSc. za poskytnutí odborných rad, věcné připomínky, ochotu a vstřícný přístup během zpracovávání práce.

Anotace bakalářské práce:

Gerla, T. *Podavač vsázky s chlazeným ústím*. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-TU Ostrava, 2013, Bakalářská práce, Vedoucí: Noga, Z., 52 s.

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení podavače vsázky s chlazeným ústím pro laboratorní plazmovou pec v laboratořích VŠB-TU Ostrava. Rešeršní část uvádí stav techniky a možnosti přípravy vsázky pro další zpracování. Po upřesnění zadání a zpracování požadavkového listu byla vytvořena funkční struktura a na jejím základě morfologická matice. Vybraný koncept řešení byl rozpracován do hrubé, následně pak do čisté stavební struktury – 3D model. Pozornost byla věnována zabezpečení posuvu vsázky pod hořák, manipulaci s podavačem, hermetizaci celého systému a návrhu bezpečného chlazení ústí podavače.

Klíčová slova:

Podavač vsázky, chlazené ústí, hermetizace, plazmová pec

Annotation of thesis:

Gerla, T. *Feeder of Charge with Cooled Vent*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB- Technical University of Ostrava , 2013, Bachelor thesis, Thesis head: Noga, Z., 52 p.

This bachelor thesis deals with design solutions with a feeder of charge with cooled vent for laboratory plasma furnace at VSB-TU Ostrava. The search section provides State of the art and possibilities of charge preparation for further processing. After specifying the input and processing requirement list was created functional structure and on this basis was created morphological matrix. Selected solution concept was developed in the gross building structure, followed by a clean building structure - 3D model. Attention was paid for the security feed of the charge under the burner, handling feeder, hermetic sealing of the system and design a safe cooled vent of feeder.

Key words:

Feeder of charge, cooled vent, sealing, plazma furnace

Obsah

Seznam použitých znaků	2
1. Úvod.....	5
2. Literární rešerše	6
2.1 Příprava vsázky	6
2.2 Vlastnosti a využití Ti slitin	7
2.3 Materiálové vlastnosti	8
2.4 Rešerše konstrukčních materiálů	8
2.5 Rešerše konstrukčních řešení	9
3. Členění dle metodického konstruování	13
3.1 Seznam požadavků	13
3.2 Seznam funkcí technického systému	13
3.3 Seznam vlastností	14
3.4 Požadavkový list.....	15
3.5 Stanovení funkční struktury	16
3.6 Morfologická matice	19
3.7 Orgánová struktura	20
4. Hrubá stavební struktura	22
5. Úplná stavební struktura (konstrukční návrh)	23
6. Výpočtová zpráva	26
6.1 Dimenzování chlazeného ústí podavače.....	26
6.2 Výpočet teplotního rozdílu na vstupu a na výstupu	32
6.3 Výpočet tlakových ztrát.....	34
6.4 Výpočet šroubů k udržení konstantního tlaku	37
6.5 Výpočet krokového motoru naklápění	39
7. Závěr.....	46
8. Seznam příloh	47
10. Seznam použité literatury	47
11. Seznam internetových zdrojů	48
12. Seznam obrázků	49
13. Přílohy	50

Seznam použitých znaků

F_a	axiální síla působící na šnek	[N]
F_{cel}	celková normálová síla v dotyku dvou přírub	[N]
F_{max}	pracovní síla	[N]
F_{ξ}	síla v ose šneku	[N]
$F_{\xi R}$	síla působící v ose šroubu	[N]
$F_{\xi R M_0}$	síla od ohybového momentu působící na šroub	[N]
F_T	třecí síla v místě dotyku dvou přírub	[N]
F_{tl}	síla od vnitřního tlaku působící na šrouby	[N]
F_v	předepínací síla	[N]
F_{ZV}	zvedací síla	[N]
G_1-G_7	tíhy jednotlivých částí podavače	[N]
L_k	délka chlazeného kanálku	[m]
M_0	ohybový moment od tíhy podavače	[N.m]
M_u	utahovací moment	[N.m]
M_{ZV}	krouticí moment šneku	[N.m]
Nu	Nusseltovo kritérium	[-]
P	tepelný výkon	[W]
Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
S	povrch osálaného ústí	[m ²]
$S_{př}$	plocha vnitřního průměru příruby podavače	[m ²]
S_u	teplosměnná plocha chlazeného ústí	[m ²]
a_0	osová vzdálenost šnekového soukolí	[mm]
a_{H_2O}	součinitel teplotní vodivosti	[m ² .s ⁻¹]
b_l	délka šneku	[mm]
c_{pH_2O}	měrná tepelná kapacita vody za stálého tlaku	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
d	roztečný průměr šneku	[mm]
d_a	průměr hlavové kružnice	[mm]
d_b	průměr základní kružnice	[mm]
d_f	průměr patní kružnice	[mm]

d_H	hydraulický průměr	[m]
d_{min}	malý průměr závitu šroubu	[mm]
d_s	střední průměr závitu šroubu	[mm]
d_w	pracovní roztečný průměr	[mm]
f	součinitel tření přírub	[-]
f_m	součinitel tření pod maticí	[-]
f_z	součinitel tření v závitu	[-]
i	počet šroubů	[-]
k_s	součinitel bezpečnosti	[-]
k_{sc}	vypočtený koeficient bezpečnosti šroub. spoje	[-]
l	délka osy šneku od středu otáčení podavače	[m]
\dot{m}	hmotnostní tok vody	[kg.s ⁻¹]
m	modul ozubení	[mm]
o	obvod průtočné plochy kanálku ústí	[m]
p	vnitřní provozní tlak v podavači	[Pa]
p_b	základní rozteč zubů	[mm]
p_c	tlak v závitu	[Pa]
p_n	rozteč zubů	[mm]
p_x	osová rozteč zubů	[mm]
p_z	stoupání šroubovice	[mm]
q	součinitel průměru šneku	[-]
r	rameno momentu	[m]
s	tloušťka zubu	[mm]
s_x	osová tloušťka zubu	[mm]
$t_{H2Ovstup}$	teplota vstupní chladicí kapaliny	[°C]
$t_{H2Ovýstup}$	teplota výstupní chladicí kapaliny	[°C]
t_{OS}	teplota vnější stěny chlazeného ústí	[°C]
t_{VS}	teplota vnitřní stěny chlazeného ústí	[°C]
w	rychlost proudící vody	[m.s ⁻¹]
z_2	počet zubů šneku	[-]
α	součinitel přestupu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
α_n	normalizovaný úhel profilu zubu šneku	[°]
β_p	základní úhel sklonu	[°]

γ	úhel sklonu zubu	[°]
Δp_Z	celková tlaková ztráta	[Pa]
$\Delta p_{Z,m}$	tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
$\Delta p_{Z,tř}$	tlaková ztráta třením	[Pa]
Δt_{H_2O}	rozdíl teplot na vstupu a výstupu	[°C]
ζ	ztrátový součinitel místními odpory	[-]
η_{H_2O}	dynamická viskozita vody při 20 °C	[Pa.s]
Λ	součinitel tření měděné trubky	[-]
λ_{H_2O}	součinitel tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
ν_{pH_2O}	kinematická viskozita vody při 20 °C	[m ² .s ⁻¹]
ρ_{H_2O}	hustota vody při 20 °C	[kg.m ⁻³]
ΣF_{ix}	suma působících sil v ose x	[N]
ΣF_{iy}	suma působících sil v ose y	[N]
ΣM_A	suma momentů k bodu A (dle obr.29)	[N.m]
σ_{RED}	redukované napětí	[MPa]
σ_t	tahové napětí	[MPa]
τ	napětí v krutu	[MPa]
ϕ	hustota tepelného toku na m ²	[W.m ⁻²]

1. Úvod

Na katedře neželezných kovů VŠB-TU Ostrava je nyní v provozu nová laboratorní plazmová pec pro tavení titanových slitin, která vyžaduje úpravy pro zkvalitnění výroby a lepší řízení procesu tavení. Proto byl dán požadavek na nové zařízení pro podávání vsázky. V současné době se na VŠB - TU Ostrava pro výrobu titanových slitin používá zařízení, které pro zahřátí vsázky využívá plazmového hořáku. Pro vytvoření plazmatu se používá čistý argon. Dosavadní podávací zařízení pracuje na principu dopravení vsázky do hořákové sekce bočním vstupem.

Úkolem je navrhnout podávací zařízení tyčovité vsázky, kde musí být zajištěno větší využití titanového kontislitku a zachování ochranné atmosféry v peci.

Titanová vsázka je ve formě tyče, její průřez je čokovitý a celková délka tyčové vsázky je 450 mm. Tuto vsázku je zapotřebí vhodně dopravit až k plazmovému hořáku pece a díky chlazenému ústí využít co nejvíce tyče pro roztavení.

Dalším úkolem je plynulá regulace naklopení vsázky. Toto se musí uskutečnit tak, aby byl vždy správný průsečík hořáku a vsázky – zajištění správných podmínek tavení. Posun vsázky k hořáku je uskutečněn pomocí hybridního krokového motoru, jenž byl použit v předchozí verzi podavače. Natáčení vsázky realizováno pomocí šnekového soukolí s využitím pohonu krokovým motorem, který musí překonat třecí odpory v utěsněné válcové ploše příruby.

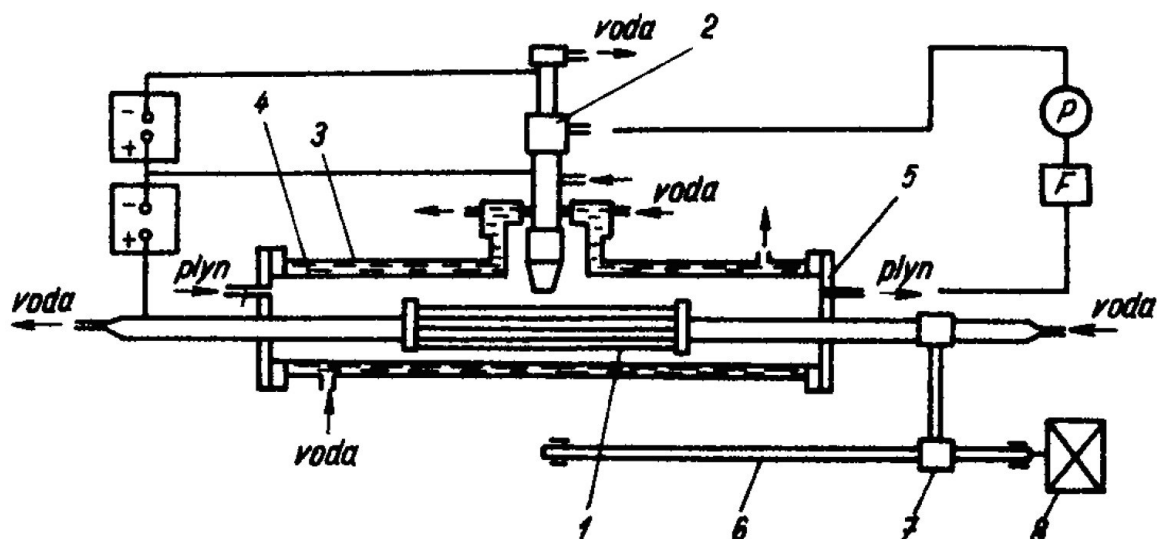
Chlazení je provedeno průtokem vody v měděném chladiči vsázky, který je uchycen na přírubě podavače a druhý konec chladiče bude co nejblíže plamene. Chladič je tvořen ze systému trubek (trubka v trubce), kolem kterých protéká chladicí médium. Z bezpečnostních důvodů se volí vyměnitelná čepička chlazeného ústí, která je upevněná na konci chlazeného ústí trubkovým závitem utěsněným teflonovou páskou.

Pro řešení této práce je využito metodického přístupu ke konstruování dle [A]. Zařízení bude plně kontrolováno a regulováno pomocí PC softwaru, díky kterému zaručíme přesné podmínky tavby.

2. Literární rešerše

2.1 Příprava vsázky

Pro potřebu výzkumu nových materiálů na VŠB –TU Ostrava byla postavena laboratorní plazmová pec s vodou chlazeným krystalizátorem [F].

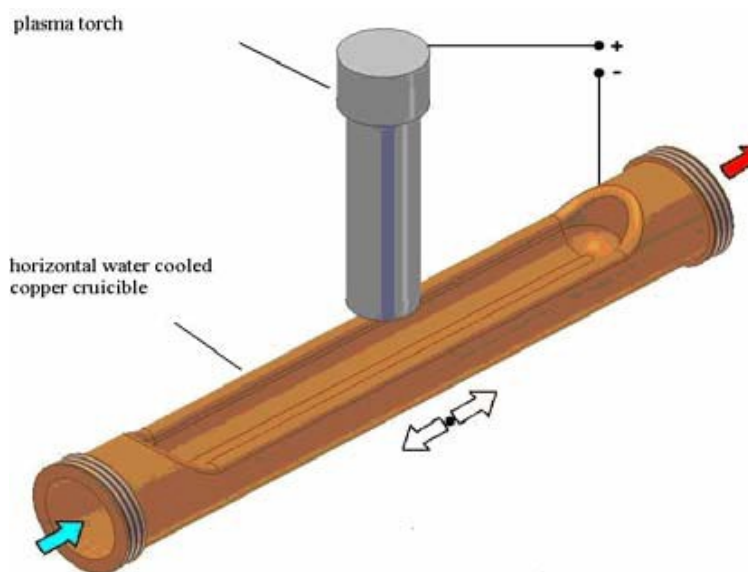


Obr. 1 - Schéma laboratorní plazmové pece s horizontálním krystalizátorem [F]

Vsázka se vyrábí pomocí tavení a spékání prášku v přípravku a ochranné atmosféře. Na tomto přípravku je shora umístěn plazmový hořák a spodní částí (chlazené korýtko krystalizátoru) se pohybuje v příčném směru tak, aby byl materiál dokonale roztaven a mohla vzniknout celistvá tyč (viz obr. 3). Konečnou podobu vsázky vidíme na obr. 4.



Obr. 2 - Pohled na čelo kontislitku [E]



Obr. 3 - Příprava vsázky [E]



Obr. 4 - Konečná podoba vsázky [E]

2.2 Vlastnosti a využití Ti slitin

Titan je polymorfní kov s nízkou hustotou, vynikající odolností proti korozi a dobrými mechanickými vlastnostmi. Komerčně čistý titan a jeho slitiny mají široké spektrum použití v moderním průmyslu. Titan a jeho slitiny nalézají uplatnění v chemickém, energetickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu.

2.3 Materiálové vlastnosti

a) Titan

Mezinárodní název	Titanium
Chemická značka	Ti
Protonové číslo	22
Teplota tání	1668 °C
Teplota varu	3287 °C
Hustota (ρ)	4,5 g.cm ⁻³
Tepelná vodivost (λ)	21,9 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Modul pružnosti v tahu (E)	116 GPa

Tabulka 1 - Materiálové vlastnosti titanu [2]

b) Měď

Mezinárodní název	Cuprum (Copper)
Chemická značka	Cu
Protonové číslo	29
Teplota tání	1083 °C
Teplota varu	2567 °C
Hustota (ρ)	8,96 g.cm ⁻³
Tepelná vodivost (λ)	375 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Modul pružnosti v tahu (E)	130 GPa

Tabulka 2 - Materiálové vlastnosti mědi [2]

2.4 Rešerše konstrukčních materiálů

Pro účely zpracování této práce je zapotřebí seznámit se s použitými materiály, jejich vlastnostmi a chování především ve vysokých teplotách. Na chladicí zařízení jsou použity měděné trubky z důvodu vysokého prostupu tepla. Na toto chladicí zařízení se dá použít i stříbro, což ovšem není z ekonomického hlediska výhodné. Samotné tělo podavače vsázky je navrženo z oceli. Uvnitř pece je ochranná atmosféra, kterou zajišťuje argon.

Titan

Titan je kov ocelového vzhledu a má sklon vytvářet sloučeniny. V přírodě vyskytuje jako směs stabilních izotopů. Průmyslově se titan vyrábí Krollovým procesem, který je energeticky velice náročný. Titan se získává z chloridu TiCl_4 redukcí roztaveným hořčíkem nebo sodíkem. Využívá se zejména jako přísada do speciálních slitin. Díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem vznikají vysocepevnostní slitiny. [2]

Měď

Měď je měkký, tažný a houževnatý kov. Měď se díky své výborné tepelné vodivosti používá pro vedení tepla a také díky svým výborným odporovým vlastnostem v elektronice. Měď se těží (nejvíce v Chile a Peru). Dále se vyrábí pražením sulfidových rud nebo pomocí vylučování mědi ze sulfátu za pomoci železa (cementace). Vyrobená černá měď se ještě dále rafinuje, aby byla čistá kolem 99,7%. Elektrolytická rafinovaná měď dosahuje čistoty až 99,95%. [2]

Plazma

Plazma, taktéž nazývaná čtvrté skupenství hmoty je ionizovaný plyn složený z iontů, elektronů, který vzniká odtržením elektronů z elektronového obalu atomů plynů nebo roztržením molekul, tzv. ionizací. Velice známá je definice Seelingerova: „*Za plazma považujeme směs elektronů a iontů, která může být a většinou i je rozprostřena uvnitř plynu z neutrálních částic. Jako celek musí být plazma v ustáleném stavu neutrální.*“ Pro metalurgické účely se plazma získává pomocí výbojů ve vysokopecním frekvenčním elektrickém poli nebo častěji pomocí elektrického výboje mezi dvěma nebo více elektrodami.[B]

2.5 Rešerše konstrukčních řešení

Pohony

Pro dopravování vsázky do středu plamene, tedy axiálnímu posuvu, je využito lineárního aktuátoru firmy SERVO DRIVE.

Pro pohony podavače byly vybrány dva druhy motorů. Posun vsázky pod hořák realizují pomocí hybridního krokového aktuátoru, na jehož šroubu bude upevněn otočný držák pro násuvné kleště.

Pro naklápění podavače je použit krokový motor Leadshine 86HS40-EC-1000, 4 Nm s enkodérem [9] s větším výkonem, jelikož musí otočit celým (těžkým) podavačem a k tomu překonat tření na styku v půlkulové ploše.

Hybridní krokový aktuátor [1]

Firma SERVO-DRIVE nabízí velmi solidní krokové motory s velkými výkony a především dlouhou životností. Svými rozměry jsou vhodné použít i do stísněných prostor, kde by se jiné motory nehodily. Na poháněném šroubu je lichoběžníkový závit, který je samosvorný, což zaručuje přesné řízení podávání vsázky (odpadá nutnost jistit posuv vsázky proti samovolnému pohybu). Aktuátory firmy SERVO-DRIVE jsou bezúdržbové a jsou vyráběny v 6 různých verzích od 21 mm až po 87 mm (rozměry čtvercové příruby). Každá velikost má 3 způsoby montáže.



Obr. 5 - Hybridní krokový aktuátor [1]

Přívod chladicí kapaliny [3]

Pro přívod chladicí kapaliny byly vybrány hadice s vysokotlakými rychlospojkami. Vysokotlaké rychlospojky jsou vyrobeny z uhlíkové oceli, nerez nebo mosazi. Jsou určeny pro pracovní tlaky řádu několika set bar. Jsou určeny pro olej v hydraulických systémech stejně jako pro řadu jiných kapalných a plyných médií. Vyrábějí se ve dvou základních verzích - kuličkové a šroubovací. Nejčastěji jsou vyráběny dle norem ISO-A; ISO-B; ISO-F. V závislosti na použití mohou být rychlospojky jednostranně uzavíratelné, oboustranně uzavíratelné nebo s volným průtokem. Volitelně může mít ventil spojky eliminátor

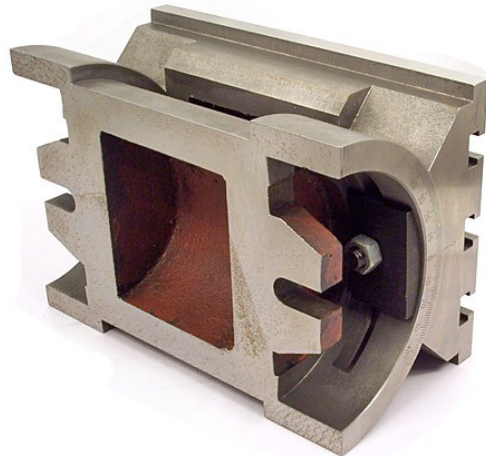
statického tlaku nebo ploché čelo (Flat face) zajišťující bezodkapové spojení i rozpojení spojky.



Obr. 6 - Bezúkapová rychlospojka ISO-F [3]

Naklápěcí stůl [6]

Jako inspirací pro přesné natáčení kolem válcové plochy byl frézařský naklápěcí stůl. Jeho přesné provedení a výroba zajišťují hladký chod a přesné nastavení polohy. Při aplikaci na podavač vsázky zajišťuje i snadné těsnění pohyblivých částí.



Obr. 7 - Naklápěcí frézařský stůl [6]

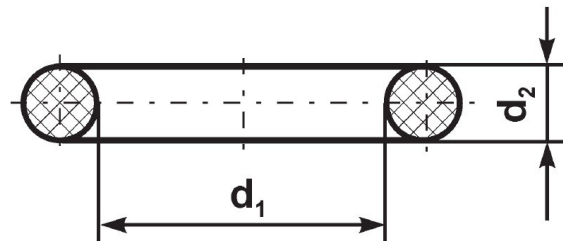
Těsnění [4]

Pro těsnění pohyblivých částí podavače byl navrhnut těsnicí O-kroužek.

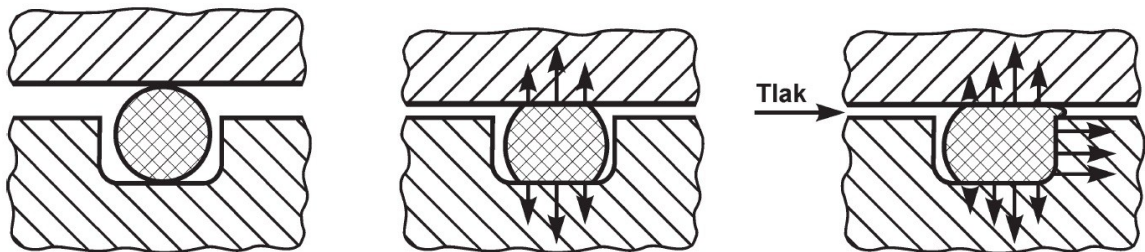
O-kroužek je těsnění z pryže určené k zabránění nežádoucí propustnosti nebo ztráty kapaliny či plynu. Těsnicí schopnost je závislá nejen na O-kroužku, ale i na zástavbovém prostoru. Tvarově je O-kroužek anuloid, tj. prstenec s kruhovým průřezem. Zástavbový

prostor, většinou drážka s těsněnou protiplochou, slouží k uložení O-kroužku. Spojení těchto prvků - O-kroužek a těsněný prostor - vytváří utěsnění O-kroužkem.

Rozměr O-kroužku je udáván jako vnitřní průměr krát průměr průřezu (tloušťka) kroužku – $d_1 \times d_2$.



Obr. 8 - Rozměry O-kroužku [4]



Obr. 9 - Stlačení O-kroužku [4]

Kyslíková sonda [5]

Pro zjištění stavu ochranné atmosféry je v horní části podavače umístěna kyslíková sonda, která zajistí přesnou koncentraci a složení ochranné atmosféry.

Kyslíková sonda je tvořena ZrO_2 kyslíkovým senzorem, termočlánkem, ochrannou trubicí a hlavicí. Dvě elektrody jsou v kontaktu se zirkoniovým čidlem pokrytým platinou. Jedna elektroda tvoří vnitřní svod, druhá elektroda svod vnější. Vnější svodem je ochranná trubka ze žáruvzdorné slitiny. Ochranná trubka je odolná proti korozi a oxidaci při vysoké teplotě a má vysokou mechanickou pevnost. Kyslíková sonda je použitelná při cementaci v plynu, tepelném zpracování v ochranné atmosféře, nitrocementaci a pro měření vlastností endotermického plynu. Není vhodná pro použití v karbonitridační atmosféře. Oxid zirkoničitý ZrO_2 je pevný elektrolyt, který při teplotách nad $700^\circ C$ vede kyslíkové ionty. Iontová vodivost způsobí napětí mezi vnitřním a vnějším povrchem čidla.

3. Členění dle metodického konstruování

3.1 Seznam požadavků

- uchycení podavače k víku tavící pece
- možnost výškového nastavení podavače (naklopení)
- možnost jednoduchého uchycení vsázky k aktuátoru
- odvedení vzduchu z podavače v horní části podavače
- hermetizace podavače
- posuv vsázky pod hořák
- snadná přístupnost ke všem šroubům a dílům podavače
- jednoduchá výměna vsázky
- těsnost spojů (víka, aktuátor)
- zajistit ochrannou atmosféru během celého procesu tavení
- regulace rychlostí posuvů
- bezproblémové a dostačující chlazení podavače a ústí
- zabránit šíření tepla sáláním od hořáku
- kontrola atmosféry (kyslíková sonda)
- kontrola teploty chladicí kapaliny (teploměr)
- regulace průtoku chladicí kapaliny (ventily, kohouty)
- jednoduché připojení hadic s médii (bezúkapové rychlospojky)
- chladicí voda max. teploty 40 °C

3.2 Seznam funkcí technického systému

- upevnění vsázky k pohonům
- posuv vsázky pod hořák
- naklopení podavače vsázky
- chlazení ústí
- těsnění spojů, hermetizace
- odsát vzduch
- izolovat upevnění vsázky
- pohon posuvu vsázky
- regulace posuvu vsázky
- zajištění polohy vsázky (posuv)
- pohon naklápění podavače

- řízení naklápění podavače
- aretace naklopení podavače
- přívod chladicí kapaliny
- regulace průtoku kapaliny
- připojení přívodů kapaliny
- měření teploty chladicí kapaliny
- měření rychlosti průtoku kapaliny
- připojení vzduchových hadic pro odsátí vzduchu
- měření procenta vzduchu/argonu (kontrola ochranné atmosféry)

3.3 Seznam vlastností

- výkon - volit krokové motory s dostatečným výkonem, aby pohybovaly podavačem
- ovladatelnost - snadné ovládání podavače pomocí joysticku a softwaru
- bezpečnost - zajištění bezpečnosti pracoviště, tj. nevymezovat podavačem velký prostor kolem pece
- regulace - možnost měnit průtoky, výšku a úhel naklopení
- metrologie - možnost měřit a porovnávat vstupní a výstupní hodnoty (teploty, průtoky, tlaky)
- výrobitelnost - možnost výroby v rámci VŠB
- produktivita - roztavit co největší množství vsázky = co nejmenší odpad
- náklady - minimální náklady na provoz a opravy
- snadná údržba a vyměnitelnost vsázky

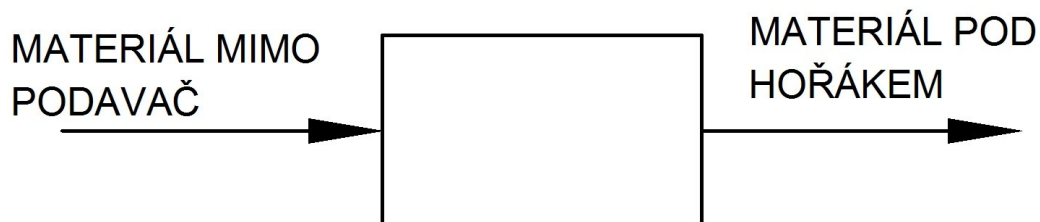
3.4 Požadavkový list

SPECIFIKACE POŽADAVKU	PODMÍNKA	PŘÁNÍ
<u>FUNKCE, ÚČINKY A FUNKČNÍ PARAMETRY:</u>		
Poloha vsázky vůči hořáku – přesné nastavení sklonu vsázky	X	
Bezpečné nakládání vsázky (nevymezovat velký prostor)	X	
Jednoduchá a rychlá možnost výměny vsázky	X	
Přívod chlazení vsázky	X	
Hermetizace přírub (stoprocentní těsnost ve spojích)	X	
Hermetizace celé vsázky (motoru podavače)	X	
Podávání jednoho kusu vsázky	X	
Zabránit šíření elektromagnetického pole	X	
Odsátí vzduchu z podavače	X	
<u>PROVOZ:</u>		
Prostupy tepla	X	
Kontinuálnost podávání	X	
Teploty tavení, teploty procesu	X	
Četnost použití	X	
Požadovaná životnost	X	
Jednoduchá údržba :		
minimální	X	
žádná		X
<u>ERGONOMIE:</u>		
Bezpečná manipulace s vsázkou	X	
Přístupnost montovaných dílů	X	
<u>PŘEDPISY A NORMY:</u>		
Bez porušení patentových práv	X	
<u>VÝROBA:</u>		
Jednoduchá, výroba v možnostech VŠB		X
Kusová	X	
<u>EKONOMIKA:</u>		
Minimální náklady na výrobu a provoz (údržbu)	X	

Tabulka 3 - Požadavkový list

3.5 Stanovení funkční struktury

a) Černá skříňka

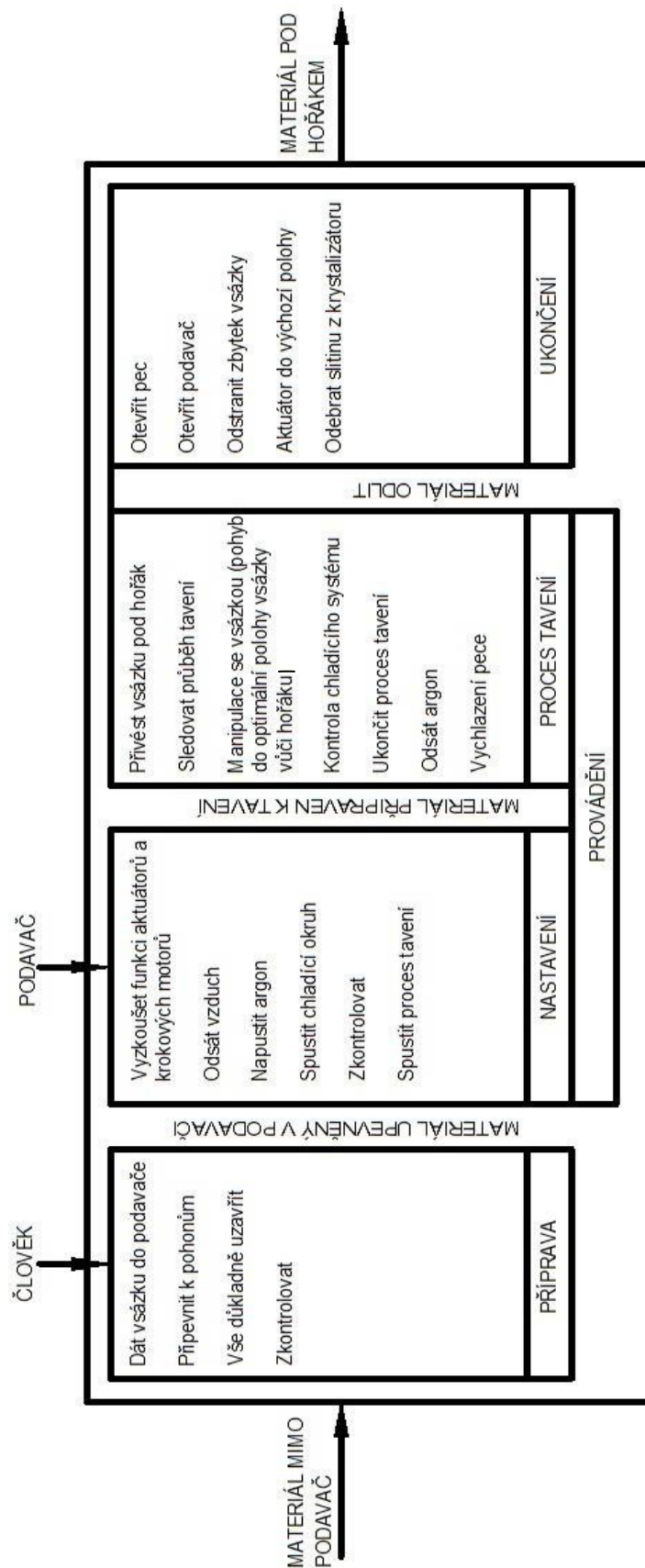


Obr. 10 - Černá skříňka [A]

b) Technologie

Podavač vsázky je spojen s tavící sekci pece přírubou s válcovou plochou obdobně jako naklápečí stůl frézky, která mu umožní přesné polohování vsázky vůči hořáku a tím pádem i korigování vlastního procesu tavení. Vsázka bude mít sražené hrany s vrcholovým úhlem 90°. Uvnitř podavače jsou lyžiny, po kterých se tyč posouvá k hořáku. Posuv vsázky je zajištěn pomocí hybridního krokového aktuátoru. Upevnění vsázky k pohonu provedeno vsunutím tyče se sražením do nástrčné vidlice, která je otočně spojena se šroubem aktuátoru. Naklápění celého podavače je zajištěno přes šnekové soukolí krokovým motorem upevněným na pohyblivé části podavače. Pro odsátí vzduchu byl použit ventil ve vrchní části podavače s rychlospojkou pro snadné připojení hadice vývěvy. Válcová plocha, kolem které se celý podavač naklápí, je utěsněna pomocí těsnícího kroužku. K přívodu chladicího média jsou použity rychlospojky pro připojení hadic s chladicí kapalinou. Víko podavače těsněno obyčejným kruhovým těsněním po celém obvodu.

c) *Technický proces*



Obr. 11 - Technický proces [A]

3.6 Morfologická matice

Dílčí funkce		Funkční principy / orgány = nositele funkcí				
		1	2	3	4	5
1	Upevnění vsázky k pohonům umožnit	závit	svěrný spoj	spojení tvarem (drážka)	magnet	pneumaticky
2	Posuv vsázky umožnit	vzduchový polštář	na valivých podporách	vedení v lyžinách	vedení v trubce	
3	Naklopení vsázky umožnit	půlkulová plocha s drážkou	půlkulová plocha s vedením	závěs	čep	
4	Chlazení ústí	chlazení s žebrováním	chlazení vodou v měděné spirále	chlazení vodou proudící v prstenci	chlazení tekutým dusíkem v trubkách	
5	Těsnit spoje	fíbrové těsnění	o-kroužky	tmelem		
6	Odsát vzduch umožnit	vývěvou	ventilátorem			
1.1	Upevnění vsázky izolovat	pertinaxová vložka	plastové kleště	pryžová vložka		
2.1	Posuv vsázky pohánět	lineární aktuátor	hybridní krokový aktuátor	elektromotor	hydraulický agregát	pneumaticky
2.2	Posuv vsázky regulovat	softwarově (joystick)	mechanicky			
2.3	Posuv vsázky jistit	samosvorný šroub aktuátoru	zarážky	elektro - magneticky	krokovým motorem s brzdou	
3.1	Naklopení vsázky pohánět	krokový motor	hydraulický píst	elektromotor	ručně	lineární servo aktuátor
3.2	Naklopení vsázky řídit	mechanicky	softwarově (joystick)			
3.3	Naklopení vsázky aretovat	dotážení šroubů	dírka-čep	samosvornost šneku		
4.1	Přívod kapaliny umožnit	hadicí	trubkou	tlakovou hadicí		
4.2	Průtok kapaliny regulovat	kohoutek	ventil	šoupátko	kulový kohout s teploměrem	

4.3	Přívod kapaliny připojit	rychlospojka	trubková koncovka	bezúkapová rychlospojka	šroubením	
4.4	Přívod kapaliny zajistit	přímo z vodovodu	samospádem	čerpádem		
4.5	Teplotu kapaliny měřit	teploměr na výstupu	kulový kohout s teploměrem			
4.6	Rychlost průtoku kapaliny měřit	vrtulkovým průtokoměrem	turbínovým průtokoměrem			
5.1	Těsnit spoje zabezpečit	tmel	silikon			
6.1	Připojení vzd. hadic umožnit	vsuvkou	rychlospojka			
6.2	Procento vzduchu měřit	argonový analyzátor	kyslíková sonda			

3.7 Orgánová struktura

V morfologické matici jsou postupně vypsány všechny možné prostředky a principy, kterými lze docílit konstrukce technického systému. V tabulce 4 jsou schémata vybraných variant řešení daného problému. Z morfologické matice byly použity dva návrhy možných řešení (označeny červeným a modrým podbarvením a čarami).

Dvě vybrané varianty jsou dále kritizovány a jejich jednotlivé funkce hodnoceny známkováním na stupnici od 1 do 5. Kdy 1 znamená výborně a 5 špatně. Výsledná koncepce vyplývá z celkového hodnocení v tabulce 4, kde kolonka „celkové pořadí“ uvádí výsledky součtu všech bodů jednotlivých funkcí.

Tímto postupem bylo stanoveno, že nejvýhodnější bude varianta č.1.

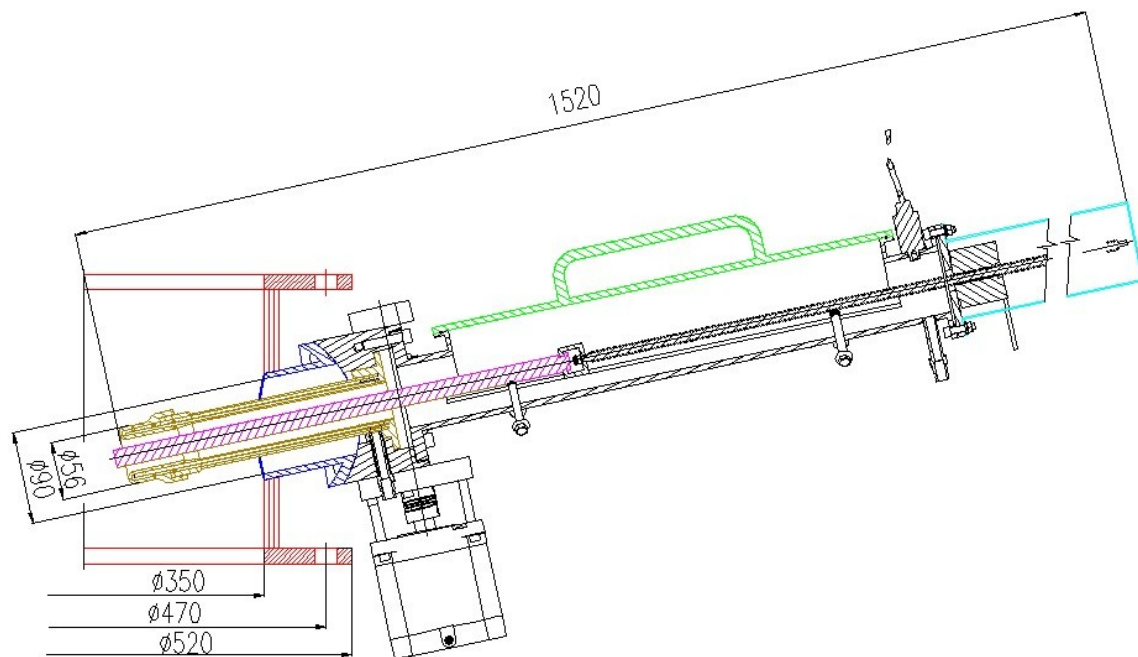
ORGÁNOVÉ STRUKTURY		<p>Varianta 1</p>	<p>Varianta 2</p>
KOMBINACE ORGÁNŮ – NOSITELŮ FUNKCÍ	1 – upevnění vsázky	2 (nastrčení)	4 (svěrný spoj)
	2 – posuv vsázky	1	1
	3 – naklopení vsázky	2	2
	4 – chlazené ústí	2 (prstenec)	4 (spirála)
	5 – těsnit spoje	2	2
	6 – odsát vzduch	2	2
HRUBÉ HODNOCENÍ	TECHNICKÉ NEDOSTATKY	-	-
	VÝROBNÍ NÁKLADY	2	3
SOUČET BODŮ		13	18
CELKOVÉ POŘADÍ		1.	2.

Tabulka 4 – Výběr konceptu

4. Hrubá stavební struktura

Z tabulky 4 byla vybrána orgánová struktura, která je následně rozpracována do hrubé stavební struktury.

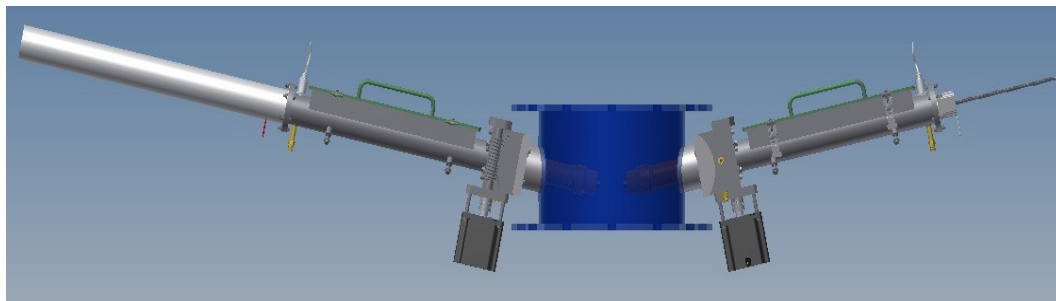
Hrubá stavební struktura odpovídá schématu v první orgánové struktuře. Tato varianta byla zvolena pro svou jednoduchost, výrobitelnost a snadnou údržbu.



Obr. 13 - Hrubá stavební struktura

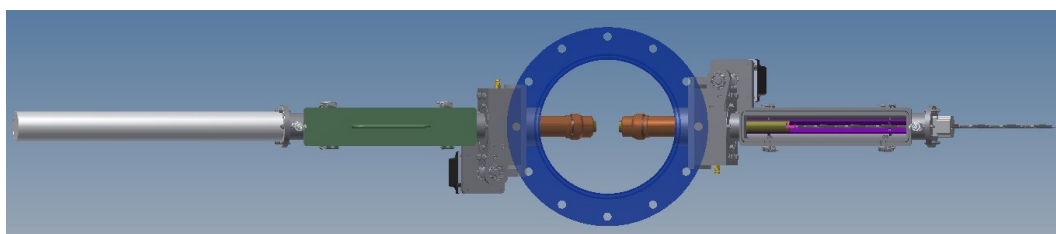
5. Úplná stavební struktura (konstrukční návrh)

Pohled zepředu:



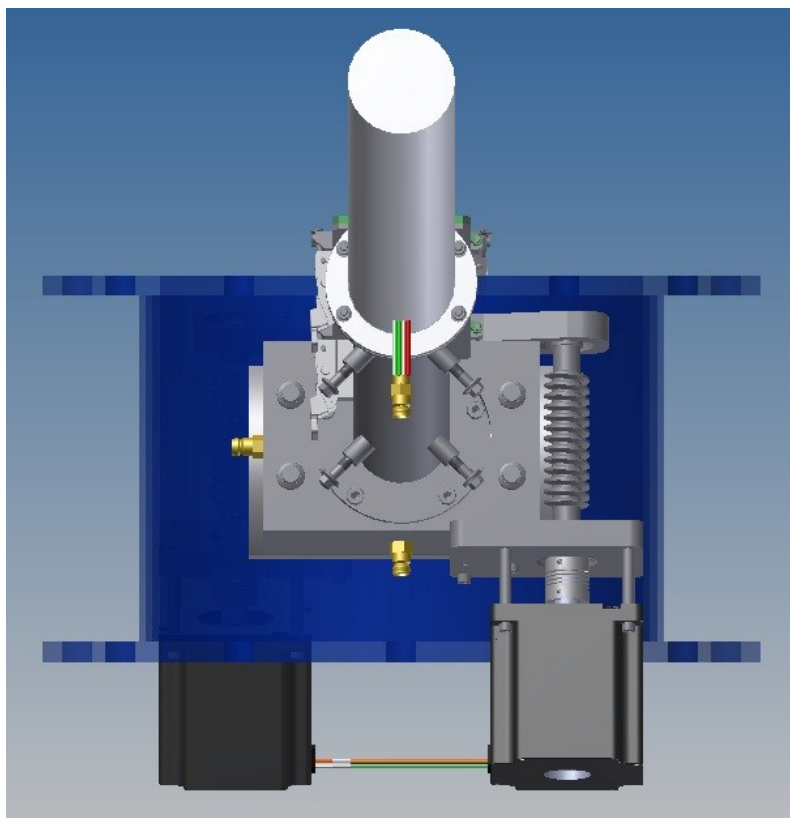
Obr. 14 - Pohled zepředu (nárys)

Pohled zhora:



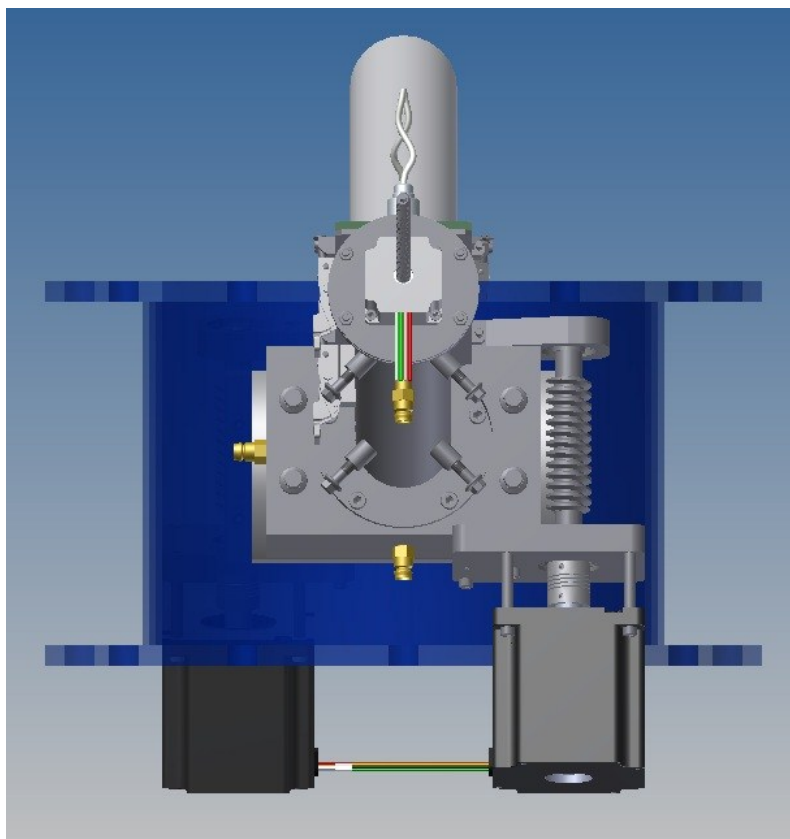
Obr. 15 - Pohled zhora (půdorys)

Bokorys levý:



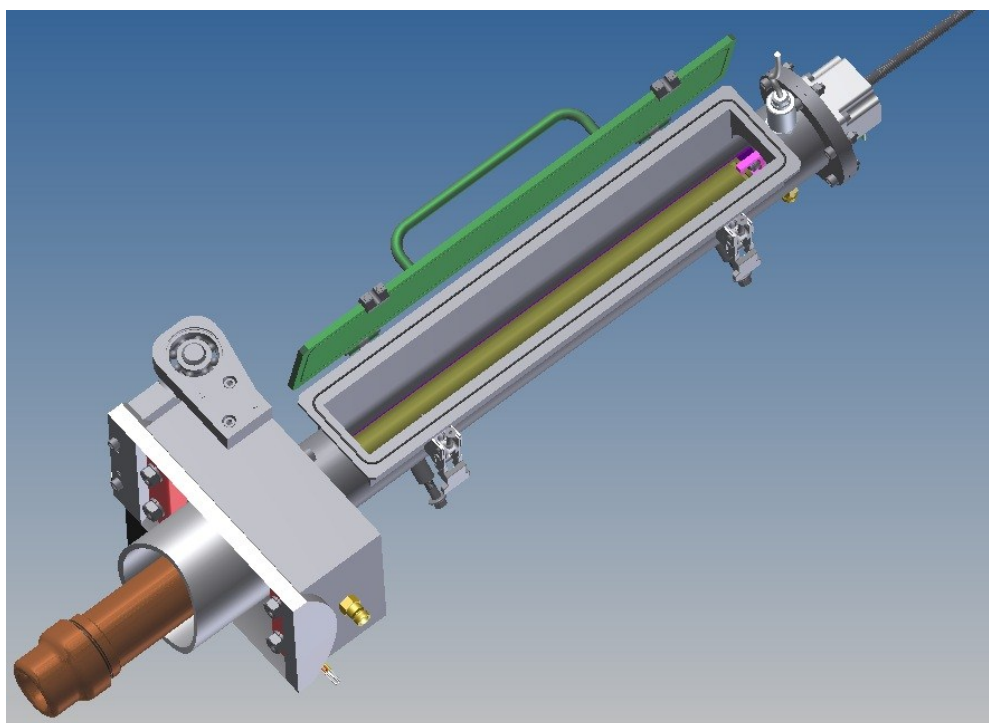
Obr. 16 - Bokorys levý

Bokorys pravý:



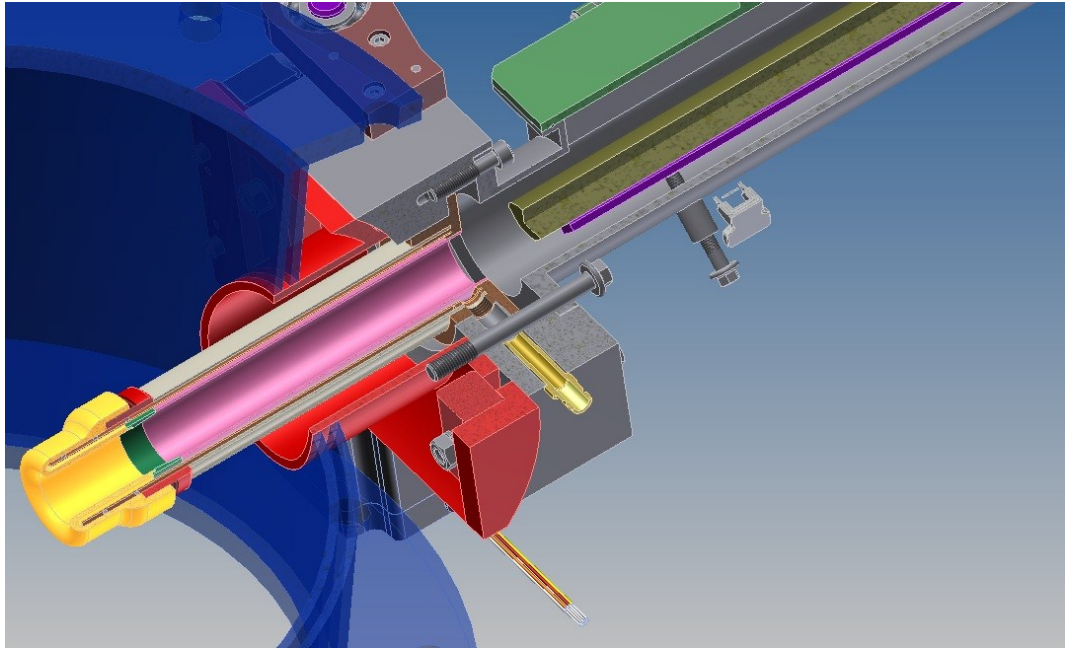
Obr. 17 - Bokorys pravý

Izometrický pohled na podavač:



Obr. 18 - Podavač (perspektiva)

Řez podavačem:



Obr. 19 - Řez podavačem

6. Výpočtová zpráva

6.1 Dimenzování chlazeného ústí podavače

Při výpočtu chlazení vsázky se vycházelo z toho, že proud plazmy je nahrazen válcovým tělesem o teplotě 8000 K. Toto těleso vyzařuje tepelné záření, které nesmí proniknout až do podavače – to znamená, že se musí volit co nejmenší mezera mezi stěnou chlazeného ústí a pohybující se vsázkou. Vstupní teplota chladicí vody byla uvažována 15 °C. Odhadnutý výkon plazmového hořáku 60 kW. Na základě odborného odhadu sděleného vedoucím práce [G] se pro další výpočty uvažuje velikost tepelného záření, které musí být odvedeno chlazeným ústím $P=12\,000\text{ W}$.

Aby bylo možné ověřit správnost konečných výsledků, tím pádem i funkčnost chlazeného ústí, musí zde platit bilanční rovnice [C]:

$$P = \dot{m} \cdot c_{pH_2O} \cdot \Delta t_{H_2O} = \alpha \cdot S_u \cdot \Delta \bar{t} \quad [\text{W}] \quad (1.1)$$

- kde: P [W] odhadnutý tepelný výkon, $P=12\,000\text{ W}$
 \dot{m} [kg.s⁻¹] hmotnostní tok vody
 c_{pH_2O} [J.kg⁻¹.K⁻¹] měrná tepelná kapacita vody za stejného tlaku
 Δt_{H_2O} [°C] součinitel přestupu tepla
 S_u [m²] rozdíl teplot na vstupu a na výstupu
 α [W.m⁻².K⁻¹] teplosměnná plocha chlazeného ústí (čelní plocha)
- v této rovnici je použit zjednodušený výpočet prostupu tepla stěnou, tzn., že se počítá se součinitelem prostupu tepla α
- nárůst teploty bude lineární a ne logaritmický
- jako vstupní hodnota se volí tepelný výkon $P=12\,000\text{ W}$ dle [G]

Pro správné dimenzování chlazeného ústí vycházím z kritériálních rovnic (1.2) a (1.3), ze kterých je vyjádřen součinitel přestupu tepla α .

Nusseltovo kritérium

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_H}{\lambda_{H_2O}} \quad [C] \quad [-] \quad (1.2)$$

Uvažuji, že Prandtlovo kritérium $Pr=0,7$, poté lze Nusseltovo kritérium vyjádřit i vztahem (1.3) dle [C], který popisuje turbulentní proudění mezi deskami (platí pro $0,7 < Pr < 200$ a $Re < 10^6$):

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad [-] \quad (1.3)$$

Ze vztahu (1.2) a (1.3) byl jednoduše vyjádřen součinitel přestupu tepla, který by se měl dle [G] pohybovat od 5 000 do 7 000 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

$$\alpha = \frac{0,021 \cdot \lambda_{H_2O} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}}{d_H} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (1.4)$$

Výpočet tepelného toku

Pro celkový tepelný výkon platí rovnice [C]:

$$P = \phi \cdot S \quad [W] \quad (1.5)$$

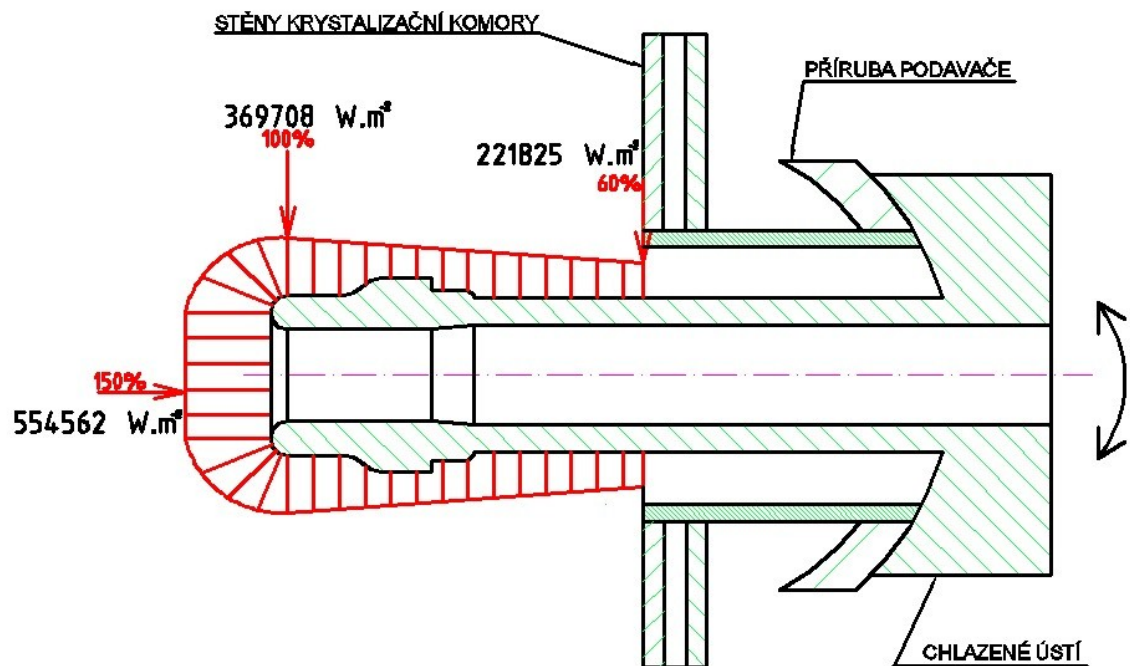
- kde: S $[m^2]$ celkový povrch osálané plochy, $S = 0,032458 \text{ m}^2$

Ze vzorce (1.5) vyjádřím tepelný tok na m^2 ϕ následovně:

$$\phi = \frac{P}{S} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.6)$$

$$\phi = \frac{12000}{0,00041469} = 369\,708 \text{ W} \cdot m^{-2}$$

Dá se předpokládat, že tepelný tok není po celé ploše chlazeného ústí rozložen rovnoměrně. V bezprostřední blízkosti sloupce plazmy bude tepelný tok největší (150%) a v okolí stěny krystalizační komory bude zase nejmenší (60%). S ohledem na předdimenzování soustavy volím rozložení tepelného toku dle následujícího obrázku (obr. 20).



Obr. 20 - Rozložení tepelného toku

Hmotnostní tok vody

Z bilanční rovnice (1.1) lze vyjádřit hmotnostní tok takto:

$$\dot{m} = \frac{P}{c_{pH_2O} \cdot \Delta t_{H_2O}} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.7)$$

- kde: c_{pH_2O} [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] měrná tepelná kapacita vody za stálého tlaku,
 $c_{pv} = 4,1814 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při 20°C dle [E]
 Δt_{H_2O} [$^\circ\text{C}$] rozdíl teplot na vstupu a výstupu, předběžně volím
 $\Delta t_{H_2O} = 10^\circ\text{C}$

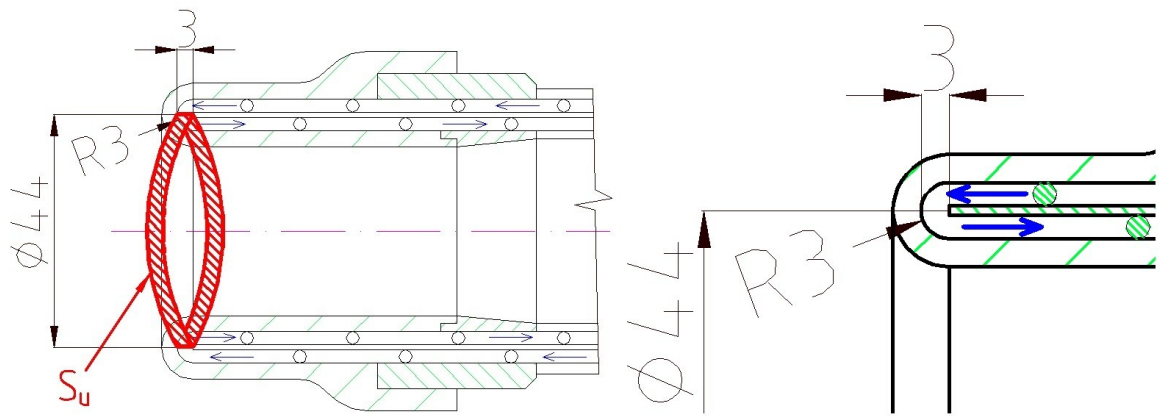
$$\dot{m} = \frac{12000}{4181,4 \cdot 10} = 0,287 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost vody v průřezu ústí

Vypočtená rychlost vody je minimální, které musíme dosáhnout. Z předchozího výsledku se dá usoudit, že rychlost vody v kanálku chlazeného ústí nebude nikterak vysoká, ale vše záleží na průřezu kanálku. [C]

$$w = \frac{\dot{m}}{S_u \cdot \rho_{H_2O}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.8)$$

- kde: S_u [m^2] průtočná plocha kanálku, $S_u = 0,000415 \text{ m}^2$
 ρ_{H_2O} [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] hustota vody při 20°C dle [C], $\rho_{H_2O} = 998 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$



Obr. 21 - Průtočná plocha kanálku s detailem

$$w = \frac{0,287}{0,000415 \cdot 998} = 0,693 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pro další výpočty volím rychlost vody $w=1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Výpočet hydraulického průměru

Hydraulický průměr je nezbytný pro výpočet Reynoldsova čísla, které určuje, zda je v systému turbulentní, přechodové či laminární proudění. [C]

$$d_H = \frac{4 \cdot S_u}{o} \quad [\text{m}] \quad (1.9)$$

- kde: S_u $[\text{m}^2]$ průtočná plocha kanálku, $S_u=0,000415 \text{ m}^2$
 o $[\text{m}]$ obvod průtočné plochy kanálku, $o=0,13823 \text{ m}$

$$d_H = \frac{4 \cdot 0,000415}{0,13823} = 0,012 \text{ m}$$

Reynoldsovo kritérium

[C] Proudění skutečných tekutin je ovlivněno vnitřním třením. Toto tření způsobuje změnu rychlosti proudění v příčném řezu proudu. Částice u stěny potrubí mají nulovou rychlost a směrem dovnitř proudu se rychlost zvětšuje, kde v ose proudu dosahuje svého maxima.

Zde je nutné dodržet podmínku, že v kanálku chlazeného ústí musí být turbulentní proudění z důvodu kvalitnějšího a rychlejšího odvedení tepla ze stěn. Proto tedy:

$Re > 10\,000$ – což zajišťuje se stoprocentní přesností turbulentní proudění.

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_H \cdot \rho_{H_2O}}{\eta_{H_2O}} \quad [-] \quad (1.10)$$

- kde: η_{H_2O} [Pa.s] dynamická viskozita vody při 20 °C,

$$\eta_{H_2O} = 8,941 \cdot 10^{-4} \text{ Pa.s dle [10]}$$

$$\text{Re} = \frac{1,5 \cdot 0,012 \cdot 998}{8,941 \cdot 10^{-4}} = \underline{20091} \quad [-]$$

20 091 > 10 000 – podmínka je splněna, v kanálku bude tedy turbulentní proudění

Prandtlovo kritérium [C]

$$\text{Pr} = \frac{\nu_{H_2O}}{a_{H_2O}} \quad [-] \quad (1.11)$$

- kde: ν_{H_2O} [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] kinematická viskozita vody při 20 °C dle [10]

a_{H_2O} [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] součinitel teplotní vodivosti vody

$$\nu_{H_2O} = \frac{\eta_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.12)$$

$$\nu_{H_2O} = \frac{8,941 \cdot 10^{-4}}{998} = \underline{8,96 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}$$

$$a_{H_2O} = \frac{\lambda_{H_2O}}{c_{pH_2O} \cdot \rho_{H_2O}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.13)$$

- kde: λ_{H_2O} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] součinitel tepelné vodivosti vody,

$$\lambda_{H_2O} = 0,602 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \text{ při } 20 \text{ °C dle [C]}$$

$$a_{H_2O} = \frac{0,602}{4181 \cdot 998} = \underline{1,443 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}$$

Prandtlovo kritérium tedy bude:

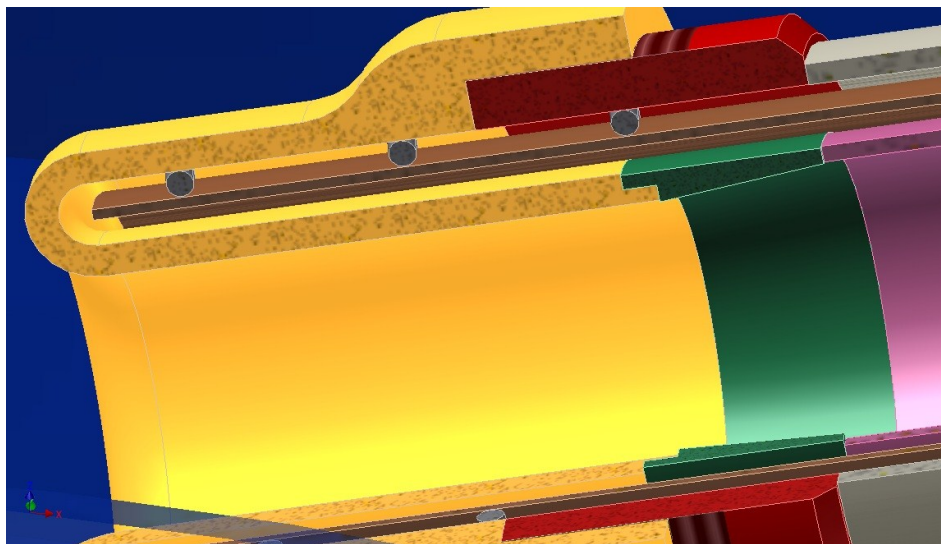
$$\text{Pr} = \frac{8,96 \cdot 10^{-7}}{1,443 \cdot 10^{-7}} = \underline{6,209} \quad [-]$$

Výpočet součinitele přestupu tepla

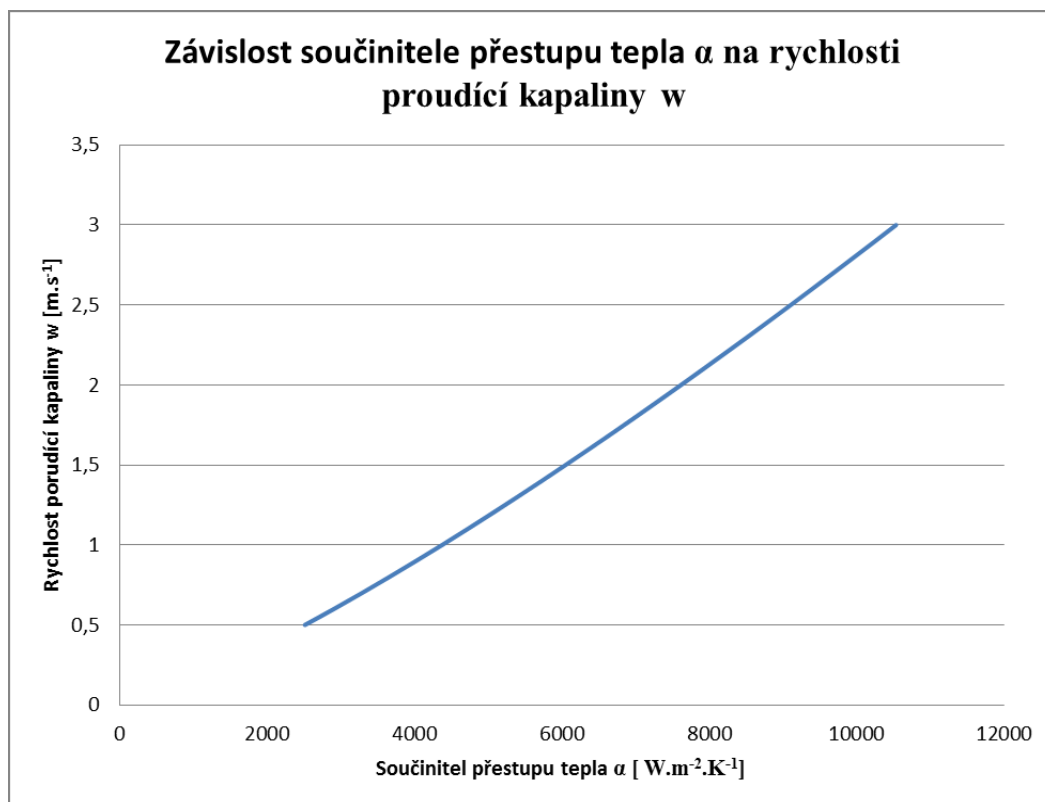
Součinitel přestupu tepla je vyjádřen ve vztahu (1.4).

$$\alpha = \frac{0,021 \cdot 0,602 \cdot 20091^{0,8} \cdot 6,209^{0,4}}{0,012} = \underline{6056 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}$$

Vypočtený součinitel přestupu tepla je v toleranci a závisí především na rychlosti proudění tekutiny, kterou lze korigovat ventilem na vstupu média do podavače. Tato závislost je přehledně uvedena v grafu 1. Na obr. 22 lze vidět konstrukční řešení chlazeného ústí v řezu.



Obr. 22 - Řez chlazeným ústím



Graf 1 - Závislost rychlosti proudící kapaliny na součiniteli přestupu tepla

6.2 Výpočet teplotního rozdílu na vstupu a na výstupu

U výpočtu rozdílu teplot je dosazen do bilanční rovnice (1.1) vztah pro hmotnostní tok vody:

$$P = w \cdot S_u \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{pH_2O} \cdot \Delta t_{H_2O} \quad [\text{W}] \quad (1.14)$$

Dále je ze vztahu (1.14) vyjádřen teplotní rozdíl:

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{P}{w \cdot S_u \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{pH_2O}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1.15)$$

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{12000}{1,5 \cdot 0,000415 \cdot 998 \cdot 4181} = 4,61 \cong \underline{5^{\circ}\text{C}}$$

Výpočtem bylo zjištěno, že při procesu tavení bude voda v chlazeném ústí ohřáta o 5°C .

Teplota výstupní chladicí vody dle [C]:

$$\Delta t_{H_2O} = t_{H_2O\text{výstup}} - t_{H_2O\text{vstup}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1.16)$$

- kde: $t_{H_2O\text{vstup}}$ [$^{\circ}\text{C}$].....teplota vstupní chladicí kapaliny, $t_{H_2O\text{výstup}} = 15^{\circ}\text{C}$

$t_{H_2O_{vystup}}$ [°C]..... teplota výstupní chladicí kapaliny

Ze vztahu (1.16) vyjádřím $t_{H_2O_{vystup}}$:

$$t_{H_2O_{vystup}} = \Delta t_{H_2O} + t_{H_2O_{vstup}} \quad [^{\circ}C] \quad (1.17)$$

$$t_{H_2O_{vystup}} = 5 + 15 = \underline{20^{\circ}C}$$

Výpočet teploty stěn v kritickém místě

Při výpočtu teplot vnější a vnitřní stěny trubky byl uvažován prostup tepla konvekcí, kde platí Newtonův ochlazovací zákon dle [D]:

$$\phi = \alpha \cdot (t_{VS} - t_{H_2O_{vystup}}) \quad [W.m^{-2}] \quad (1.18)$$

Ze vztahu (1.18) lze jednoduše vyjádřit teplotu vnitřní stěny t_{VS} :

$$t_{VS} = \frac{\phi + \alpha \cdot t_{H_2O_{vystup}}}{\alpha} \quad [^{\circ}C] \quad (1.19)$$

$$t_{VS} = \frac{554562 + 6056 \cdot 20}{6056} = \underline{112^{\circ}C}$$

Teplotu vnější stěny t_{OS} zjistím ze vztahu (1.20) dle [D]:

$$\phi = \frac{(t_{OS} - t_{VS}) \cdot \lambda_{Cu}}{s} \quad [W.m^{-2}] \quad (1.20)$$

- kde: λ_{Cu} [W.m⁻¹.K⁻¹] součinitel tepelné vodivosti mědi,

$$\lambda_{Cu} = 375 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \text{ dle [D]}$$

s [W.m⁻¹.K⁻¹]..... tloušťka stěny měděné trubky, s=0,003 m

Vyjádření teploty vnější stěny t_{OS} :

$$t_{OS} = \phi \cdot \frac{s}{\lambda} + t_{VS} \quad [^{\circ}C] \quad (1.21)$$

$$t_{OS} = 554562 \cdot \frac{0,003}{375} + 112 = 116,44 \cong \underline{117^{\circ}C}$$

Jelikož při obtékání vnitřní stěny o teplotě 112 °C hrozí výskyt páry v systému, musí se zvýšit vnitřní tlak v chlazeném ústí podle diagramu vodní páry v příloze 1.

Jako vstupním parametrem je teplota 112 °C, u které se dá předpokládat, že při tlaku 0,15 MPa nedojde k samovolnému vypařování a voda zůstane v kapalném stavu. Proto je

celý systém dimenzován na minimální tlak 0,2 MPa, který musí být navýšen o tlakové ztráty (ztráty třením a místními odpory). Tento tlak není příliš velký, jelikož v klasické městské vodovodní síti je běžně tlak 0,6-0,7 MPa. Navíc je uvažováno, že dodávka vody bude zajištěna čerpadlem, kde se dá jednoduše regulovat tlak. Čerpadlo, které je již na místě k dispozici dosahuje provozního tlaku až 1 MPa.

6.3 Výpočet tlakových ztrát

Tlaková ztráta vzniká pouze při proudění tekutiny, za klidu je nulová. Je charakterizována třecími ztrátami a místními odpory. Chlazené ústí je rozděleno do jednotlivých částí, pro které byly vypočteny místní a třecí ztráty. Sumací všech ztrát vyjde celková tlaková ztráta.

Pro celkovou ztrátu tlaku dle [H] platí:

$$\Delta p_Z = \Delta p_{Z,tř} + \Delta p_{Z,m} \quad [\text{Pa}] \quad (1.22)$$

- kde: $\Delta p_{Z,tř}$ [Pa] ztráta tlaku třením

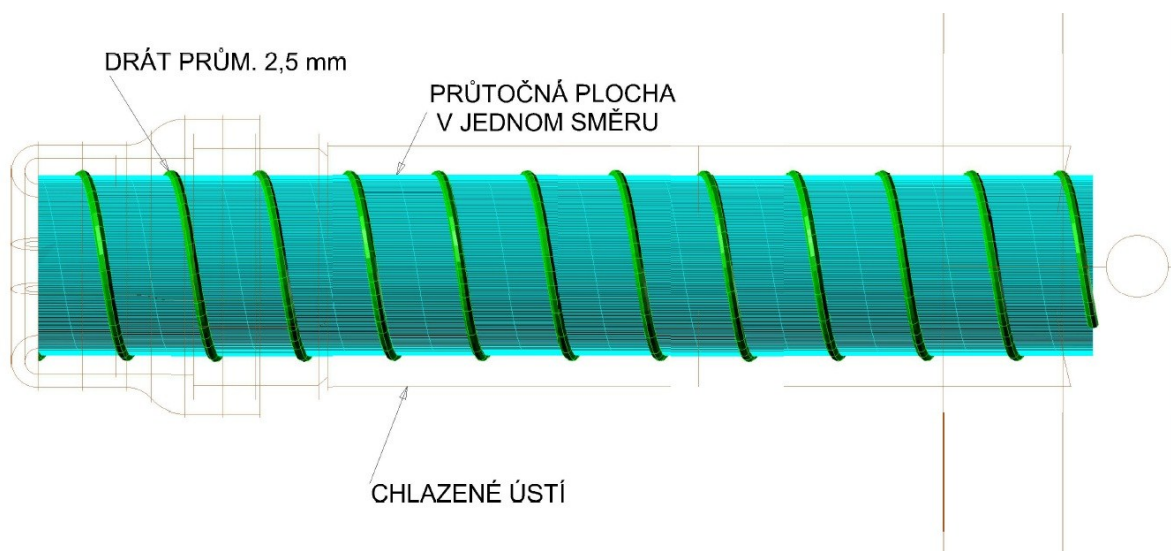
$\Delta p_{Z,m}$ [Pa] tlaková ztráta místními odpory

Ztráta tlaku třením dle [H]:

$$\Delta p_{Z,tř} = \Lambda \cdot \frac{L_K}{d_H} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho_{H_2O}}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (1.23)$$

- kde: Λ [-] součinitel tření měděné trubky, $\Lambda=0,02$ dle [7]

Délka chlazeného kanálku odměřena z obr. 23 v softwaru Rhinoceros 4.0 pomocí rozvinutí pláště ve spirále chlazeného ústí.



Obr. 23 - Průtočná plocha chlazeného ústí

Z měření v softwaru Rhinoceros 4.0 plyne, že délka chlazeného kanálku $L_k=2870$ mm. Tato délka odpovídá dvojnásobku délky průtočné plochy v jednom směru. Byla určena jako délka rozvinutého drátu, mezi jehož mezerami proudí kapalina. Ostatní veličiny a rozměry plynou z předešlých výpočtů.

$$\Delta p_{z, tr} = 0,02 \cdot \frac{2,87}{0,012} \cdot \frac{1,5^2 \cdot 998}{2} = \underline{5\,371\,Pa}$$

Ztráty třením v kanálku budou tedy 5 371 Pa.

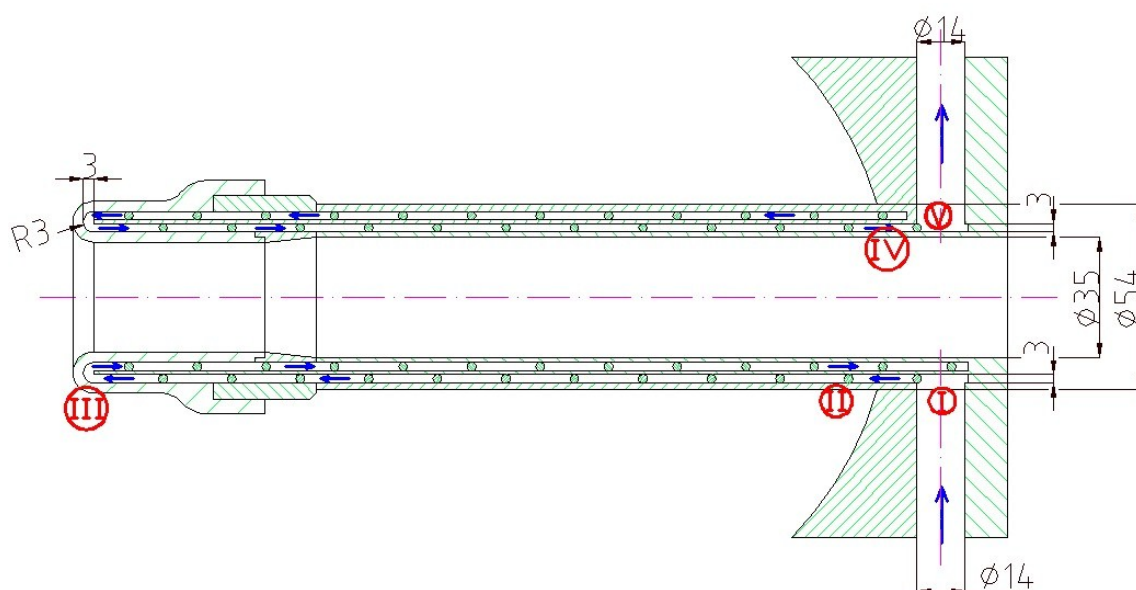
Tlakovou ztrátu místními odpory vyjadřuje vztah dle [H]:

$$\Delta p_{z, m} = \zeta \cdot \frac{w^2 \cdot \rho_{H_2O}}{2} \quad [Pa] \quad (1.24)$$

- kde: ζ [-]..... ztrátový součinitel místními odpory

Ztrátový součinitel místními odpory ζ je dle [H] závislý na druhu místní ztráty, konstrukčních parametrech a na režimu proudění. V příloze 2 je uveden druh místního odporu v určitém druhu kanálu a přiřazená hodnota ztrátového součinitele ζ .

Na obr. 24 jsou jednotlivé kritické místa označeny římskými číslicemi. Pod obrázkem je uveden výpočet jednoho místa a poté jsou analogicky vypočtené hodnoty seřazeny do přehledné tabulky.



Obr. 24 - Kritická místa kanálku chlazeného ústí

Jako příklad výpočtu uvádím výpočet pro kritické místo I:

Zde bude součinitel místního odporu $\zeta=1$ dle [H] pro náhlé rozšíření průřezu.

Rychlost vody je rovna $1,5 \text{ m.s}^{-1}$.

$$\Delta p_{z,mI} = 1 \cdot \frac{1,5^2 \cdot 998}{2} = 1123 \text{ Pa}$$

Přehledná tabulka s výsledky všech místních ztrát:

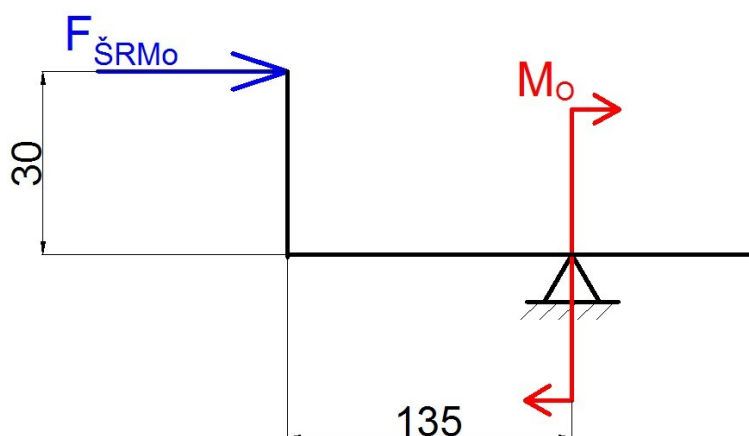
Kritické místo	Rychlost vody [m.s ⁻¹]	ζ	d_H [m]	$\Delta p_{z,m}$ [Pa]	$\Delta p_{z,tř}$ [Pa]
I	2	1	0,014	1996	5 371
II	1,5	0,3	0,013	337	
III	1,5	1,4	0,012	1571	
IV	1,5	0,3	0,012	337	
V	2	1	0,014	1996	
Σ				6237	5371
Celková tlaková ztráta				11 608 Pa	

Tabulka 5 - Tlaková ztráta

Z tabulky 5 vyplývá, že vstupní tlak je třeba navýšit minimálně o 11 608 Pa. Proto byl zvolen vstupní tlak, který musí zajistit čerpadlo $p=0,2 \text{ MPa}$.

6.4 Výpočet šroubů k udržení konstantního tlaku

Pro výpočet šroubů byla nejprve určena síla, která působí v ose šroubu. Z této síly byl navržen průměr šroubu. Z konstrukčního hlediska volím 4 šrouby, které budou spojovat těleso podavače s přírubou komory pece. Tyto šrouby budou zajišťovat rovnoměrné rozložení tlaku při pohybu podavače. Musí být zajištěna těsnost mezi tělesem podavače a chlazeným ústím a také mezi chlazeným ústím, které klouže po válcové přírubě komory pece. Sílu v ose šroubu byla určena z rovnováhy momentů dle zjednodušeného obr. 25.



Obr. 25 - Rovnováha momentů u šroubu

Z obr. 25 vyplývá rovnice dle [I]:

$$M_o = F_{\dot{S}RM_o} \cdot r \quad [\text{Nm}] \quad (1.25)$$

Ze vztahu (1.25) byla vyjádřena síla působící na dva vrchní šrouby. Dá se uvažovat, že při změně směru pohybu v opačný se tyto silové poměry vyskytnou na opačné straně podavače. Vztah (1.26) byl rozšířen o počet šroubů $i=2$.

$$F_{\dot{S}RM_o} = \frac{M_o}{r} \cdot \frac{1}{i} \quad [\text{N}] \quad (1.26)$$

$$F_{\dot{S}RM_o} = \frac{81000}{30} \cdot \frac{1}{2} = 1350 \text{ N}$$

Na šrouby bude navíc působit síla od tlaku ochranné atmosféry (argonu), který bude při provozu uvnitř pece a tudíž i uvnitř podavače.

Vnitřní tlak $p=101\,625 \text{ Pa}$, což je velice mírný přetlak.

$$p = \frac{F_{tl}}{S_{př}} \quad [\text{Pa}] \quad (1.27)$$

- kde: $S_{př}$ $[\text{m}^2]$plocha vnitřního průměru příruby

Z rovnice (1.27) byla vyjádřena tlaková síla působící na 4 šrouby. Tato rovnice je zároveň vydělena počtem šroubů. Poté bude síla působící na jeden šroub:

$$F_{tl} = \frac{p \cdot S_{př}}{i} \quad [\text{N}] \quad (1.28)$$

$$F_{tl} = \frac{\frac{101625 \cdot \pi \cdot 0,09^2}{4}}{4} = \frac{650}{4} = 162,5 \text{ N}$$

Součtem síly od momentu a síly od tlaku dostanu celkovou sílu působící na jeden šroub. Z této síly byl vypočítán minimální průměr šroubu $F_{šR}$.

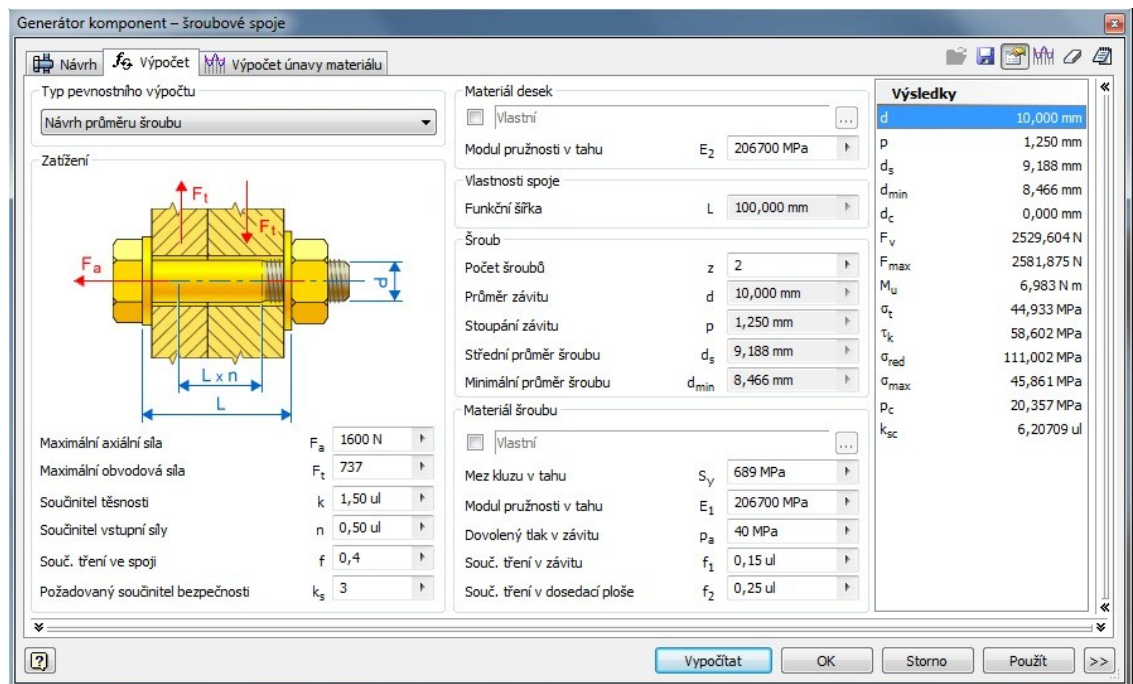
$$F_{šR} = F_{šRMo} + F_{tl} \quad [\text{N}] \quad (1.29)$$

$$F_{šR} = 1350 + 162,5 = 1512,5 \cong 1600 \text{ N}$$

Další výpočet průměru šroubů byl vypracován pomocí softwaru Autodesk Inventor. Okrajové podmínky voleny dle tabulky 6. Výpočet je přehledně uveden na obr. 26.

Podmínka	Značka	Velikost	Jednotka
Tlak uvnitř podavače	p	101 625	Pa
Třecí síla při pohybu	F_T	737	N
Součinitel tření ve spoji (ocel – ocel)	f	0,4	-
Součinitel bezpečnosti	k_s	3	-
Součinitel tření v závitu	f_z	0,15	-
Součinitel tření pod maticí	f_m	0,25	-

Tabulka 6- Okrajové podmínky pro šroub



Obr. 26 - Výpočet šroubů

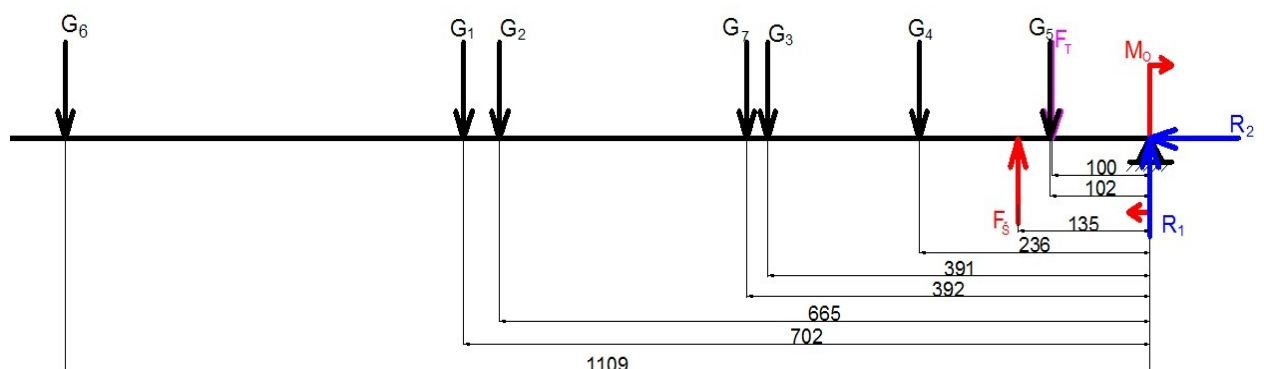
Dle výpočtu a konstrukčního řešení zvoleny šrouby M10x110. Hodnoty napětí ve šroubu a utahovací moment je znát z obr. 26.

$$M_u = 6,983 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{RED} = 111 \text{ MPa}$$

6.5 Výpočet krokového motoru naklápění

K výpočtu výkonu krokového motoru bylo zapotřebí znát tíhy jednotlivých částí podavače, které jsou přehledně znázorněny na obr. 27.



Obr. 27 - Rozložení tíhy podavače

Kde: $G_1 = 14,6 \text{ N}$

$G_4 = 133,5 \text{ N}$

$G_7 = 21 \text{ N}$

$G_2 = 5,6 \text{ N}$

$G_5 = 66,2 \text{ N}$

$G_3 = 7,8 \text{ N}$

$G_6 = 2,5 \text{ N}$

Výpočet třecí síly F_T

Pro výpočet třecí síly bylo uvažováno zatížení v místech dotyku dvou válcových ploch silou $F_{\text{šRMo}} = 1350 \text{ N}$. Síla je násobena počtem šroubů $i=2$. Poté byla k této síle přičtena i síla od vnitřního tlaku v podavači $F_{\text{tl}}=650$. Tato síla poté představuje maximální zatěžující sílu na šrouby, které udržují konstantní tlak na přírubu podavače. Uvažovaný součinitel smykového tření těchto dvou ploch $f=0,22$ dle [8] pro suché tření bez mazání pro materiály ocel-ocel.

$$F_T = F_{\text{cel}} \cdot f \quad [\text{N}] \quad (1.30)$$

Kde:

$$F_{\text{cel}} = F_{\text{šRMo}} \cdot 2 + F_{\text{tl}} \quad [\text{N}] \quad (1.31)$$

$$F_{\text{cel}} = 1350 \cdot 2 + 650 = \underline{3350 \text{ N}}$$

$$F_T = 3350 \cdot 0,22 = \underline{737 \text{ N}}$$

Výpočet ohybového momentu M_o

Tíhové zatížení bude způsobovat klopný moment v místě otáčení, toto místo je uvažováno jako vetknutí, ve kterém působí ohybový moment M_o .

U výpočtu M_o vycházím z rovnováhy sil (1.32), (1.33) a (1.34) dle [I].

$$\Sigma F_{ix} = 0 \quad [\text{N}] \quad (1.32)$$

$$\Sigma F_{iy} = 0: -G_1 - G_2 - G_3 - G_4 - G_5 - G_6 - G_7 - F_T + R_1 = 0 \quad [\text{N}] \quad (1.33)$$

$$\Sigma M_A = 0: \quad G_6 \cdot 1109 + G_1 \cdot 702 + G_2 \cdot 665 + G_7 \cdot 392 + \\ + G_3 \cdot 391 + G_4 \cdot 236 - M_o + G_5 \cdot 102 + F_T \cdot 100 \quad [\text{MPa}] \quad (1.34)$$

Z rovnice (1.34) vyjádřím neznámou M_o následovně:

$$M_o = \Sigma G_i \cdot x_i = 2,5 \cdot 1109 + 14,6 \cdot 702 + 5,6 \cdot 665 + 21 \cdot 392 + 7,8 \cdot 391 + 133,5 \cdot 236 + \\ + 66,2 \cdot 102 + 737 \cdot 100$$

$$\Rightarrow M_o = 139986 \text{ Nmm} \cong \underline{140 \text{ Nm}}$$

Výpočet osově síly ve šneku

Z vypočteného ohybového momentu M_o byla následovně vypočítána síla v ose šneku F_s :

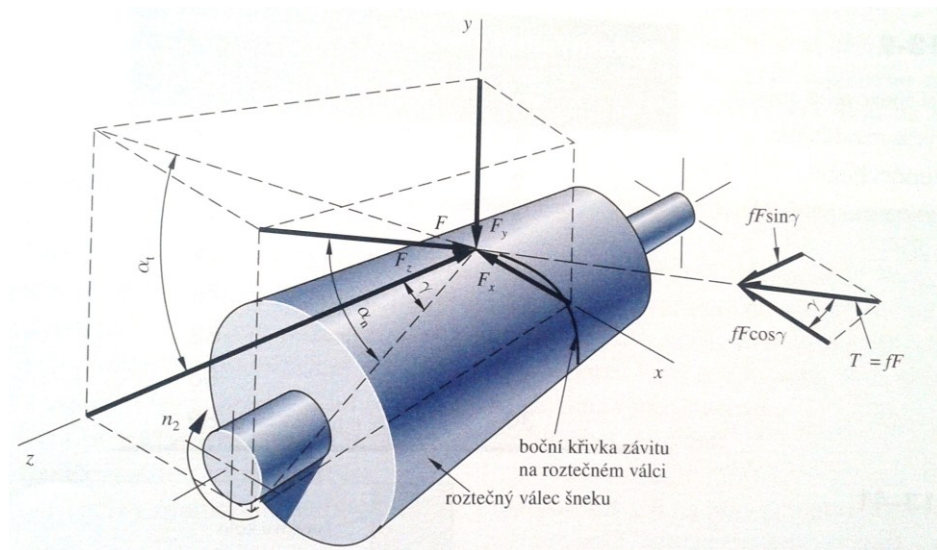
$$M_o = F_s \cdot l \quad [\text{MPa}] \quad (1.35)$$

Délka osy šneku od středu otáčení je $l=135$ mm. Ze vztahu (1.35) je vyjádřena síla v ose šneku:

$$F_s = \frac{Mo}{l} \quad [\text{N}] \quad (1.36)$$

$$F_s = \frac{140000}{135} = 1037 \approx \underline{\underline{1040 \text{ N}}}$$

Rozložení sil působících na šnek je zobrazen na obr. 28 [I].



Obr. 28 – Síly působící na roztečném válci šneku [I]

$\alpha_n=20^\circ$ normalizovaný úhel profilu [I]

Návrh šnekového soukolí

Literatura [I] uvádí přehlednou tabulku, která je výběrem z normy DIN 3976 a uvádí hodnoty součinitele průměru šneku pro různé osové závislosti.

Osová vzdálenost byla volena s ohledem na konstrukci podavače dle CAD dat a to $a_0=140$ mm.

Převodový poměr zvolen $i=10$, jelikož šnek bude poháněn programovatelným krokovým motorem, tudíž není zapotřebí velký převodový poměr a velikost kroku motoru se jednoduše naprogramuje. Pro osovou vzdálenost a_0 jsou parametry z DIN 3976:

$m=2,5$ [mm]	modul
$z_2=1$ [-]	počet zubů šneku
$q=11,2$ [-]	součinitel průměru šneku (dle Autodesk Inventor)

Tímto byly zadány okrajové podmínky pro výpočet šnekového převodu, který je navržen pomocí generátoru šnekových soukolí v softwaru Autodesk Inventor 2012 viz obr. 29 a obr. 30.

z	m_x	d	q	x
98	2,5000	31,25	12,50	0,7500
98	2,5000	35,00	14,00	0,0000
98	2,2400	56,00	25,00	1,0000

Obr. 29 - Výpočet šnekového převodu

Obr. 30 - Silové poměry šnekového soukolí

Na obr. 30 lze vidět velkou rezervu v únosnosti axiální síly, která působí na šnek, kde navržené soukolí má únosnost $F_a = 2437 \text{ N}$ a požadovaná únosnost je $F_s = 1040 \text{ N}$. Tato rezerva je však s ohledem na konstrukční rozměry ponechána s vědomím, že šnekový převod je předimenzován.

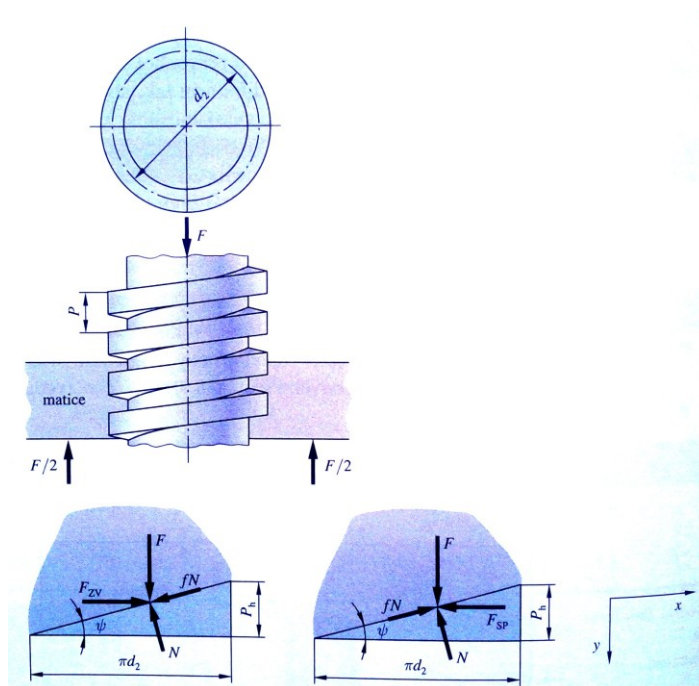
Rozměry šneku a šnekového kola uvádí tabulka 7.

	ŠNEK	ŠNEKOVÉ KOLO
	Výsledky p_n 7,8229 mm p_x 7,8540 mm p_b 7,380 mm γ 5,1022 deg β_b 4,7959 deg d 28,000 mm d_f 22,000 mm d_a 33,000 mm d_w 32,500 mm d_b 26,311 mm s 3,911 mm s_x 3,927 mm b_1 100,000 mm p_z 7,854 mm	Výsledky p_n 7,8229 mm p_x 7,8540 mm p_b 7,380 mm γ 5,1022 deg β_b 4,7959 deg d 247,500 mm d_f 246,000 mm d_a 257,000 mm d_w 247,500 mm d_b 232,574 mm s 5,543 mm s_x 5,565 mm b_2 20,000 mm d_{ae} 259,500 mm

Tabulka 7 - Rozměry šnekového soukolí

Výpočet krouticího momentu krokového motoru

Silové poměry na šneku jsou zřejmé z obr. 31 [I]. Silové poměry byly počítány zjednodušeně jako síly na pohybovém šroubu s maticí.



Obr. 31 - Silové poměry na šneku [I]

Kde: $F_s = 1040 \text{ N}$
 $d = 28 \text{ mm}$
 $p_x = 7,854 \text{ mm}$
 $\gamma = 5,1022^\circ$

Na obr. 31 je rozvinut jeden „závit“ šneku v délce odpovídající jedné otáčce. Závit pak tvoří přeponu pravoúhlého trojúhelníku, jehož základnou je obvod kružnice středního průměru šneku d_2 a jeho výška je rovna stoupání šneku p_x . Výslednice všech elementárních sil je síla $F = F_s$. Třecí síla $f \cdot N$ působí vždy proti směru pohybu. Součinitel tření $f = 0,16$ dle [8] pro materiál šneku – bronz a materiál kola – ocel.

Minimální síla potřebná k překonání osově síly $F_s = 600 \text{ N}$ se vypočte ze vztahu dle [I]:

$$F_{zv} = \frac{F_s \cdot (\sin \gamma + f \cdot \cos \gamma)}{\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma} \quad [\text{N}] \quad (1.37)$$

$$F_{zv} = \frac{1040 \cdot (\sin 5,1022 + 0,16 \cdot \cos 5,1022)}{\cos 5,1022 - 0,16 \cdot \sin 5,1022} = 263 \approx 270 \text{ N}$$

Pro výpočet točivého momentu byl využit vzorec dle [I]:

$$M_{zV} = \frac{F_s \cdot d_2}{2} \cdot \left(\frac{p_x + \pi \cdot f \cdot d}{\pi \cdot d - f \cdot p_x} \right) \quad [\text{Nm}] \quad (1.38)$$

$$M_{zV} = \frac{1040 \cdot 28}{2} \cdot \left(\frac{7,854 + \pi \cdot 0,16 \cdot 28}{\pi \cdot 28 - 0,16 \cdot 7,854} \right) = 3682,2 \text{ Nmm} \cong \underline{3,7 \text{ Nm}}$$

Z vypočteného momentu byl zvolen krokový motor Leadshine 86HS40-EC-1000, 4 Nm s enkodérem [9] (viz příloha 3). Motor byl zvolen vyšší řady, jelikož je uvažováno, že na podavači mohou být při provozu zapojeny hadice s chladicí kapalinou nebo se může do podavače udeřit či jinak nechtěně zatížit.

7. Závěr

V bakalářské práci byl navrhnout podavač vsázky s chlazeným ústím. Při konstrukci vlastního podavače bylo využito poznatků z metodiky konstruování [A]. V úvodu proběhlo seznámení s problematikou tavení titanových slitin, přípravou k tavbě a použití těchto slitin v praxi. Důsledné uplatnění metodického postupu napomohlo k důkladnějšímu zpracování předmětu zadání. Při výpočtech byl kladen důraz především na správné dimenzování chlazení ústí. V celém systému chlazeného ústí nesmí vzniknout bublinka páry, jinak by mohlo dojít k havárii pece. Toto bylo zajištěno zvýšením tlaku, kde bod varu vody stoupne. Pro určování a odměřování rozměrů byl použit software Rhinoceros 4. Dále bylo zapotřebí navrhnout šnekové soukolí a síly na něj působící. V těchto výpočtech byl použit software Autodesk Inventor, který obsahuje generátor šnekových soukolí, kde byly vloženy okrajové podmínky a vygenerované soukolí bylo konstrukčně upraveno tak, aby bylo rozměrově vhodné pro konstrukci podavače.

Podavačem je nakládáno pomocí krokového motoru, na jehož výstupu je připevněn šnek. Tento šnek se odvaluje po pevné části příruby pece a tím nakládá podavač. Hermetizace je na pohyblivých částech zajištěna kruhovým těsněním, které je přitlačováno přes šrouby spojující podavač a pevnou přírubu pece.

Pro konstrukci 3D modelu byl využit software Autodesk Inventor 2012, ve kterém je zpracována sestava podavače včetně výkresové dokumentace.

8. Seznam příloh

- Příloha 1- i-S diagram vodní páry, A4
- Příloha 2- Hodnoty součinitelů místních ztrát ζ , A4
- Příloha 3- Technické parametry krokového motoru, A4
- Příloha 4- CD (3D model, bakalářská práce, poster závěrečné práce)

9. Seznam výkresové dokumentace:

GER0015_SESTAVA_001, A0

10. Seznam použité literatury

- [A] HUBKA, V. *Konstrukční nauka - Obecný model postupu při konstruování*. – vydalo nakladatelství HEURISTA, 1995
- [B] DEMBOVSKÝ, V. *Plazmová metalurgie*. Praha SNTL, 1978, 264 s.
- [C] PŘÍHODA, M., RÉDR, M. *Sdílení tepla a proudění. 2. přepracované vydání* Ostrava: Editační středisko VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2008, 177 s. ISBN 978-80-248-1748-4
- [D] KADLEC, Z. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*, Edice SPBI spektrum, Ostrava 2009, 102 s.
- [E] NOGA, Z. JABLONSKÝ, D.: *Návrh laboratorního krystalizátoru pro konstislitky Ti-Ni slitin*. In *V Miedzynarodowa Sesja naukowa, Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii i inżynierii materialowej*, Politechnoka Czestochowska Polska, Wydział inżynierii procesowej, materialowej i fizyki stosowanej, 2004., s. 503 – 506, ISBN 83–87745–37–5.
- [F] DEMBOVSKÝ, V. *Laboratorní plazmová pec pro přípravu kovů o vysokém bodu tání a vysoké čistotě*. Hutnické listy, 1970, č. 4., s. 266 – 268.
- [G] NOGA, Z. Sdělení okrajových podmínek a odborný odhad hodnot
- [H] JANALÍK, J., ŠTÁVA, P. *Mechanika tekutin*. Ostrava: Editační středisko VŠB -TUO, 2002, 126 s. ISBN 80-248-0038-1
- [I] SHIGLEY, J., MISCHKE, Ch., BUDYNAS, R. *Konstruování strojních součástí*. Vysoké učení technické v Brně, Brno: VUTUM, 2010, 1160 s.

11. Seznam internetových zdrojů

- [1] SERVO DRIVE - *Hybridní krokové aktuátory* [online]. [cit. 11.12.2012]. Dostupný z WWW: <http://www.servo-drive.com>
- [2] PRVKY - *Periodická tabulka prvků* [online]. [cit. 18.11.2012]. Dostupný z WWW: <http://www.prvky.com/29.html>
- [3] TUBES - *Vysokotlaké rychlospojky* [online]. [cit. 29.1.2013]. Dostupný z WWW: http://www.tubes-international.cz/katalog_pdf/vysokotlake_rychlospojky.pdf
- [4] ABELTECHNIK – *Těsnící prvky* [online]. [cit. 28.1.2013]. Dostupný z WWW: http://www.abeltechnik.cz/rubena/tesnici_prvky.pdf
- [5] ECOSOND – *Kyslíková sonda* [online]. [cit. 28.1.2013]. Dostupný z WWW: <http://www.ecosond.cz/soubory/Navod-kyslikove-sondy-ECOSOND.pdf>
- [6] MARKAGRO- *Naklápečí stůl frézařský* [online]. [cit. 30.1.2013]. Dostupný z WWW: http://markagro.cz/eshop/naadikovonastroje.html?page=shop.product_details&flypage=flypage-ask.tpl&product_id=623&category_id=135
- [7] TZB INFO- *Výpočet tlakové ztráty třením v potrubí* [online]. [cit. 1.5.2013]. Dostupný z WWW: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/87-vypocet-tlakove-zraty-trenim-v-potrubu>
- [8] ROYMECH – *Coefficient of friction for screw threads* [online]. [cit. 2.5.2013]. Dostupný z WWW: http://www.roymech.co.uk/Useful_Table/s/Tribology/co_of_frict.htm
- [9] CNC SHOP- *Hybrid servo motor* [online]. [cit. 2.5.2013]. Dostupný z WWW: <http://www.cncshop.cz/86hs40-ec-1000-hybrid-servo-motor-4nm>
- [10] ENGINEERING TOOLBOX- *Dynamic and kinematic viscosity* [online]. [cit. 3.5.2013]. Dostupný z WWW: http://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html

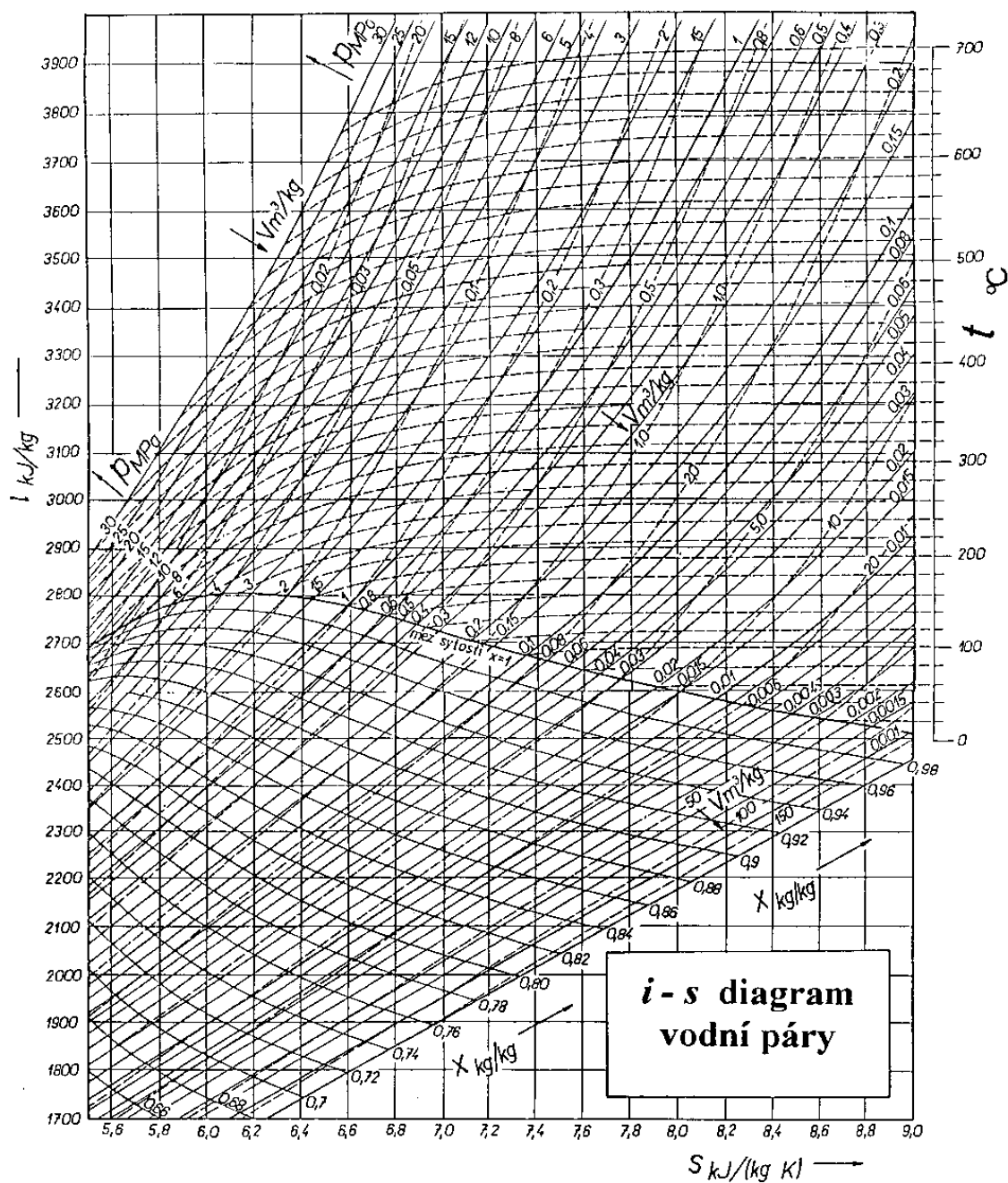
12. Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma laboratorní plazmové pece s horizontálním krystalizátorem [F]	6
Obr. 2 - Pohled na čelo kontislitku [E]	6
Obr. 3 - Příprava vsázky [E]	7
Obr. 4 - Konečná podoba vsázky [E]	7
Obr. 5 - Hybridní krokový aktuátor [1]	10
Obr. 6 - Bezúkapová rychlospojka ISO-F [3]	11
Obr. 7 - Naklápěcí frézařský stůl [6]	11
Obr. 8 - Rozměry O-kroužku [4]	12
Obr. 9 - Stlačení O-kroužku [4]	12
Obr. 10 - Černá skříňka [A]	16
Obr. 11 - Technický proces [A]	17
Obr. 12 – Blokové schéma funkční struktury [A]	18
Obr. 13 - Hrubá stavební struktura	22
Obr. 14 - Pohled zepředu (narys)	23
Obr. 15 - Pohled zhora (půdorys)	23
Obr. 16 - Bokorys levý	23
Obr. 17 - Bokorys pravý	24
Obr. 18 - Podavač (perspektiva)	24
Obr. 19 - Řez podavačem	25
Obr. 20 - Rozložení tepelného toku	28
Obr. 21 - Průtočná plocha kanálku s detailem	29
Obr. 22 - Řez chlazeným ústím	31
Obr. 23 - Průtočná plocha chlazeného ústí	35
Obr. 24 - Kritická místa kanálku chlazeného ústí	36
Obr. 25 - Rovnováha momentů u šroubu	37
Obr. 26 - Výpočet šroubů	39
Obr. 27 - Rozložení tíhy podavače	39
Obr. 28 – Síly působící na roztečném válci šneku [I]	41
Obr. 29 - Výpočet šnekového převodu	42
Obr. 30 - Silové poměry šnekového soukolí	42
Obr. 31 - Silové poměry na šneku [I]	44

13. Přílohy

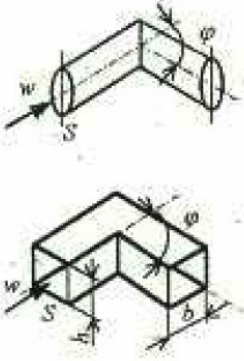
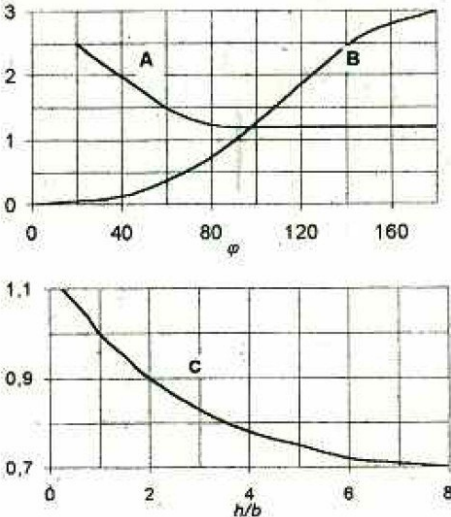
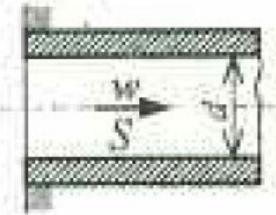
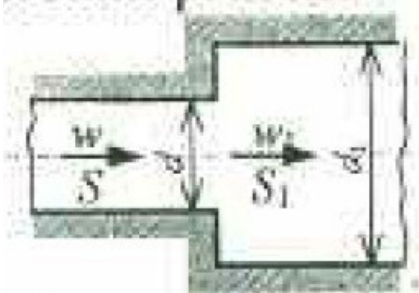
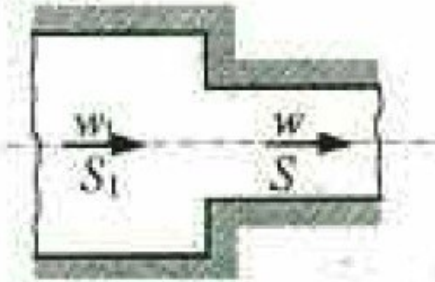
Příloha 1

i-s diagram vodní páry [H]



Příloha 2

Hodnoty součinitelů místních ztrát ζ dle [H]

Druh místního odporu, schema	Hodnota ztrátového součinitele ζ
<p>Koleno s ostrým zaoblením</p> 	
<p>Vtok do trubky s ostrou hranou</p> 	$\zeta = 0,5$
<p>Vtok s náhlým rozšířením průřezu</p> 	$\zeta = 1 - \left(\frac{S}{S_1} \right)^2$
<p>Vtok s náhlým zúžením průřezu</p> 	$\zeta = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S}{S_1} \right)$

Příloha 3

Technické parametry hybridního krokového motoru [9]

Motor Specifications

Model	Phase	Step Angle (Degree)	Leads	Holding Torque (N.m)	Phase Current (A)	Phase Resistance (Ohm)	Phase Inductance (mH)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Weight (Kg)	Encoder (lines)
573S09-EC-1000	3	1.2°	3	0.9	5.8	0.35	0.72	280	0.75	1000
573S20-EC-1000	3	1.2°	3	2.0	5.8	0.62	1.85	580	1.3	1000
57HS10-EC-1000	2	1.8°	4	1.0	4.2	0.4	2.0	200	0.8	1000
57HS20-EC-1000	2	1.8°	4	2.0	5.8	0.37	2.0	480	1.25	1000
86HS40-EC-1000	2	1.8°	4	4.0	5.5	0.46	4.0	1500	1.5	1000
86HS80-EC-1000	2	1.8°	4	8.0	6.0	0.44	3.73	2580	3.8	1000

